



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH A VÝROBA SPORTOVNÍHO ÚCHYTU PRO
NÁRAMKOVÉ HODINKY**

DESIGN AND MANUFACTURE OF A SPORTS HANDLE FOR WRISTWATCHES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavol Ábel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Pavol Ábel**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a výroba sportovního úchytu pro náramkové hodinky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autor v úvodní části provede rešerši zadané problematiky zaměřenou na provedení sportovních úchytů pro náramkové hodinky a výrobu odpovídajících tvarových plastových dílů 3D FDM tiskem. Dále navrhne vhodný design úchytu, provede posouzení jeho technologičnosti konstrukce. Kontrolní výpočty z hlediska funkce dílu metodou MKP a vyrobený díl vyzkouší v praktickém použití. Na základě výsledků provede technicko–ekonomické vyhodnocení a doporučení z hlediska dalšího využití.

Cíle bakalářské práce:

- rešerši zvolené problematiky
- návrh prototypu
- kontrolní výpočty
- výroba a testování funkce prototypu
- technicko–ekonomické zhodnocení a doporučení autora

Seznam doporučené literatury:

BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. Vrabec Martin Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002, 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005, 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

CHUA, Chee Kai, Kah Fai LEONG a Chu-Sing LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a výrobou držiaku na športové hodinky pomocou technológie 3D FDM tlače. Cieľom práce je navrhnuť, vyrobiť, technicky a ekonomicky vyhodnotiť výrobu modelu držiaku. Prvá časť sa venuje rešerši FDM tlače a tlačiarne. V ďalších častiach sa zaoberá návrhom a následnou výrobou držiaku.

Kľúčové slová

3D tlač, FDM, FFF, aditívna technológia, rapid prototyping

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with design and production of a sports watch holder using 3D FDM printing technology. The aim of the work is to design, manufacture, technically and economically evaluate the production of the holder model. The first part deals with the search of FDM printing and printers. In the following sections, it covers the design and subsequent production of the holder.

Key words

3D print, FDM, FFF, additive manufacturing, rapid prototyping

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ÁBEL, Pavol. *Návrh a výroba sportovního úchytu pro náramkové hodinky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131936>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Návrh a výroba sportovního úchytu pro náramkové hodinky** vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a prameňov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname použitých zdrojov na konci práce.

Dňa 21.5.2021 v Piešťanoch

Ábel Pavol

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Oskarovi Zemčíkovi Ph.D., za jeho ochotu, cenné rady a pomoc pri vypracovávaní práce aj napriek všetkým komplikáciám spojených s pandémiou COVID-19.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PREHLÁSENIE	5
POĎAKOVANIE	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1. ADITÍVNE TECHNÓGIE	10
2. 3D FDM TLAČ	11
2.1 Technológia 3D FDM tlače	11
2.2 Základné konštrukčné časti tlačovej hlavy	13
2.2.1 Dýza	13
2.2.2 Výhrevný blok	15
2.2.3 Chladič	15
2.2.4 Extrudér	16
2.2.4.1 Priami extrudér	16
2.2.4.2 Bowden extruder	16
2.2.4.3 Priami extrudér so vzdialeným pohonom	17
2.3 Typy konštrukcií FDM tlačiarní	17
2.3.1 Kartézky	18
2.3.2 Delta	18
2.3.3 Polárna	19
2.3.4 SCARA	19
2.4 Technologické parametre tlače	20
2.4.1 Teplota	20
2.4.2 Výška vrstvy	20
2.4.3 Výplň	21
2.4.4 Rýchlosť	22
2.4.5 Orientácia tlače	22
2.4.6 Most	22
2.4.7 Podpora	23
2.4.8 Okraj	23
2.5 Materiály	23
2.5.1 PLA	23
2.5.2 PET-G	24
2.5.3 ABS	24
2.5.4 ASA	24
2.5.5 Nylon	24
2.5.6 HIPS	25
2.5.7 PVA	25
2.5.8 TPU	25
3 NÁVRH MODELU DRŽIAKA	26
3.1 Posúdenie technologickosti modelu	26
3.1.1 Mosty	26

3.1.2	Previsy	27
3.1.3	Presnosť rozmerov	27
3.1.4	Ostré hrany	28
3.1.5	Výsledný model	28
3.2	Voľba materiálu	28
3.3	Voľba výšky vrstvy	28
3.3.1	Medza pevnosti	29
3.3.2	Vplyv výšky vrstvy na čas tlače	31
3.3.3	Výška vrstvy	32
3.4	Voľba výplne	32
4	KONTROLA POMOCOU MKP	33
5	VÝROBA DRŽIAKA	34
5.1	Preporcesing	34
5.2	Tlač modelu	35
5.3	Postprocesing	36
5.3.1	Odstránenie technologických prídavkov	36
5.3.2	Montáž prísavok	37
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	38
6.1	Technické zhodnotenie	38
6.2	Ekonomické zhodnotenie	38
7	ZÁVER	40
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	41
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	45
	ZOZNAM PRÍLOH	47

ÚVOD

Technológie rýchlej výroby prototypov (rapid prototyping) sú známe už od 80. rokov minulého storočia. Do tejto kategórie patria technológie ktoré vyrábajú konečný výrobok aditívnym spôsobom. Končený tvar je dosiahnutý pridaním materiálu v presne požadovanej geometrii a nie jeho odoberaním ako pri metódach konvenčného obrábania. Medzi aditívne technológie považujeme spekanie plastových alebo kovových práškov, vytvrdzovanie fotopolymérov či v neposlednom rade nanášanie roztavenej struny po jednotlivých vrstvách.

Jednou z najznámejších a najrozšírenejších technológií aditívnej výroby je Fused Deposition Modeling (FDM). Táto metóda je rozšírená nielen medzi profesionálnymi výrobcami ale aj medzi domácimi majstrami a preto sa bude táto práca zameriavať na jej využitie v praxi.

Cieľom tejto práce je návrh a výrobný postup športového úchytu na hodinky. Moderné športové hodinky v dnešnej dobe poskytujú množstvo funkcií monitorujúcich fyzickú aktivitu a výnimkou nie je ani kanoistika. Pri pádlovaní nie je možné sledovať hodinky umiestnené na zápästí ruky a preto je potrebné ich umiestniť na čelo lode, kde ich bude mať kajakár stále v zornom poli. Úchyt sa bude pripevňovať pomocou silikónových prísavok na kajak, aby bola montáž a demontáž pri prevoze kajaku jednoduchá.

1. ADITÍVNE TECHNOLOGIE

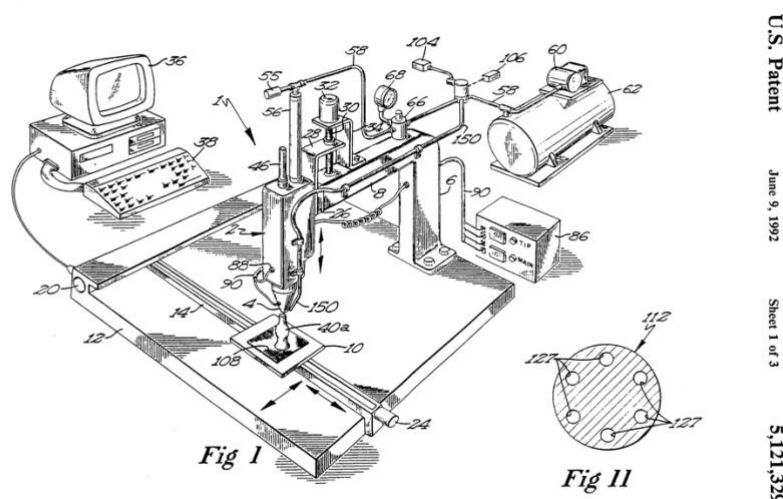
Aditívna technológia je jednou z najrozvíjajúcejšou technológiou výroby. Je to proces pri ktorom vzniká výrobok postupným nanášaním materiálu v konštantných hrúbkach. Týmto spôsobom je redukovaná spotreba materiálu, času a tým aj náklady na výrobu. Aditívna technológia prináša úsporu zefektívnenie pri vývoji, výrobe prototypov a následnej sériovej výrobe. Tento spôsob výroby umožňuje vytvárať rôzne druhy konštrukcií ktoré nebolo možné konvenčnými spôsobmi vyrobiť. Dokáže pridávať materiál na presne požadované miesto k maximalizácii pevnosti a minimalizácii hmotnosti. Vstupom je virtuálny model vytvorený v CAD systéme a následne je v systéme CAM rozdelený na jednotlivé vrstvy ktoré bude stoj nanášať [1,2].

Norma ISO/ASTM 52900:2015 presne stanovuje a definuje pojmy aditívne výroby tzv. 3D tlače. Norma definuje 7 kategórií:

- Binder jetting – metóda pri ktorej je tekuté spojivo nanášané na vrstvy práškových materiálov
- Directed Energy Deposition – metóda pri ktorej je využívaná termálna energia (napr. plazmový oblúk, laser alebo elektrónový lúč) taví materiál, zvyčajne vo forme prášku v momente nanášania
- Powder Bed Fusion – metóda pri ktorej termálna energia je selektívne smerovaná na lôžko na ktorom taví práškový materiál
- Sheet Lamination – postup pri ktorom sa tenké listy, papieru alebo hliníkovej fólie, nanášajú po vrstvách
- Material Jetting – proces pri ktorom je materiál (napr.: vosk alebo fotopolymér) ukladán po kvapkách
- Vat Photo Polymerization – metóda pri ktorej je kvapalný fotopolymér v nádrži selektívne vytvrdzovaný polymeráciou aktivovanou svetlom
- Material Extrusion – proces výroby pri ktorej je materiál nanášaný pomocou cez dýzu alebo otvor [3].

2. 3D FDM TLAČ

Technológia 3D FMD (Fused Deposition Modeling) bola vyvinutá začiatkom 80. rokov 20. storočia, v rámci rozvoja rýchlej výroby prototypov. Jej vynálezcom je Steven Scott Crump, spoluzakladateľ spoločnosti Stratasys, Ltd., ktorú si nechal v roku 1989 patentovať. Po expirácii patentu v roku 2009 sa táto metóda 3D tlače rozšírila medzi bežných používateľov pod označením FFF (Fused Filament Fabrication), pretože označenie FMD je registrovanou ochrannou známkou konvenčných firiem [4].



Obr. 1.1 Patent S. Scotta Crumpa [4].

2.1 Technológia 3D FDM tlače

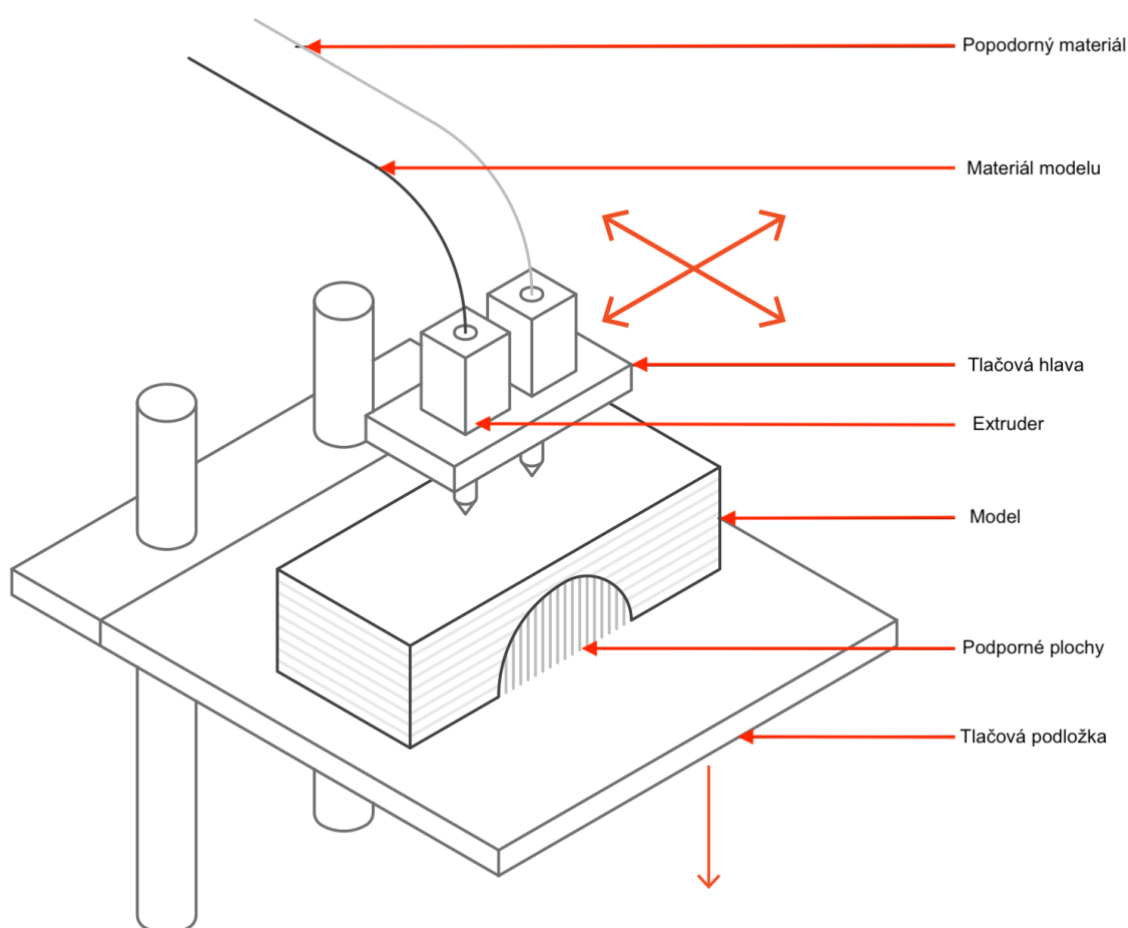
3D FDM tlač je aditívna technológia, pracujúca s polymérnym materiálom (filamentom) vo forme struny kruhového prierezu ktorý je navinutým na cievku. Materiál je privádzaný z cievky do tlačovej hlavy pomocou krokových motorov a prevodov na konštrukcii tlačiarne alebo priamo na tlačovej hlave. V dýze sa materiál zahrieva na teplotu vyššiu ako je teplota tavenia a následne je touto dýzou nanášaný po vrstvách na tlačovú podložku. Tlačová podložka je vyhrievaná aby sa zaistilo dobré spojenie jednotlivých vrstiev, znížila anizotropia a predchádzalo tepelnému zmršťovaniu nanesených vrstiev materiálu a dochádzalo k deformáciám modelu [4,5].

Tlačová nanáša materiál v tvare prierezu tlačeneho modelu. Po dokončení celého prierezu sa tlačová hlava alebo tlačová podložka posunie vertikálne o výšku vrstvy a celý proces sa opakuje kým nie je vytlačený celý model. Výška jednotlivých vrstiev sa pohybuje od 0,05 mm až po 0,55 mm, pričom výška každej vrstvy môže byť rozdielna v závislosti od požadovanej kvality a rýchlosti tlače. Pri nanášaní jednotlivých vrstiev je materiál chladený pomocou ventilátorov, prúdom vzduchu, aby nedochádzalo k tečeniu materiálu. Tlačová hlava môže obsahovať viac extrudérov a tak dokáže tlačiť z viacerých materiálov. Tento spôsob tlače sa využíva pri viac

farbenej tlači alebo pri tlači s rozpustiteľnými podporami. Nutnosť používať tlačové podpory je pri previsoch a strmých plochách. Pohyb tlačovej hlavy je riadený pomocou G-kódu, ktorý je vytvorený v CAM systéme. Tento systém rozdelí model na jednotlivé vrstvy a následne popíše tieto vrstvy ako lineárne pohyby tlačovej hlavy. Všetky tieto pohyby a ďalšie nastavenia tlačiarne ako sú napríklad výška vrstvy, teplota dýzy a teplota tlačovej podložky zapíše do G-kódu [5].

Výhodou tejto technológie je jej ekonomickosť, jediným odpadom ktorý pri tlači vzniká je materiál podpôr alebo okrajov. Táto technológia ponúka veľké množstvo materiálov použiteľných pre výrobu, ktoré sú netoxické a niektoré dokonca biologicky rozložiteľné [6].

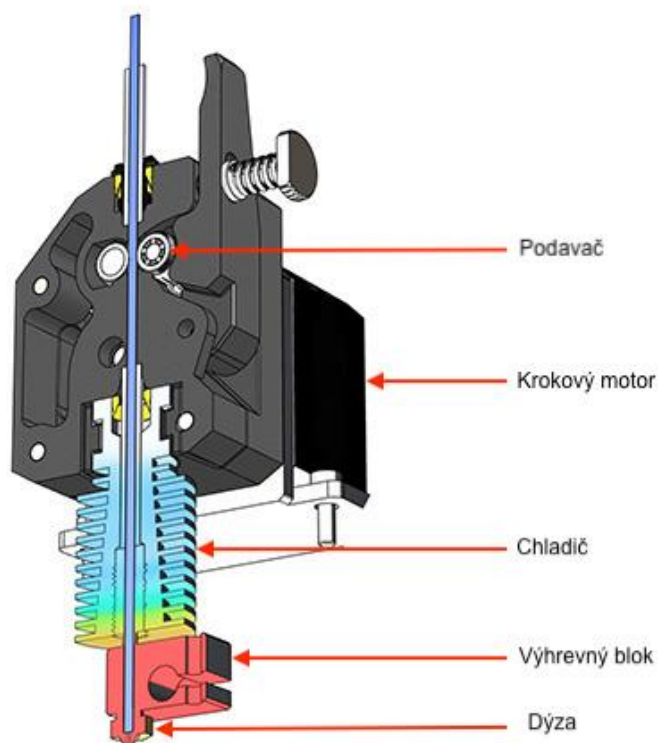
Nevýhodou 3D FDM tlače je obmedzená presnosť daná priemerom dýzy a použitým materiálom. Ďalšou nevýhodou je dlhší čas výroby, ktorý nie je možné urýchliť z dôvodu vlastností a tavenia materiálov. Vlastnosti materiálov môžu komplikovať tlač zmršťovaním modelu pri chladnutí vedúcemu k deformácii modelu [6].



Obr.1.2 Schéma FDM tlačiarne - podľa [5].

2.2 Základné konštrukčné časti tlačovej hlavy

Tlačová hlava je najdôležitejšia časť tlačiarne. Skladá sa zo studenej a horúcej časti. Studená časť má za úlohu priviesť materiál z cievky a posúvať ho do teplej časti. Rýchlosť posuvu je riadená krokovými motormi. Horúca časť slúži k zahriatiu materiálu nad teplotu tavenia v dýze pomocou výhrevného telesa nachádzajúceho sa vo výhrevnom bloku do ktorého je dýza upevnená [7].



Obr.1.3 Schéma tlačovej hlavy - podľa [8].

2.2.1 Dýza

V dýze dochádza k taveniu materiálu, usmerneniu jeho toku a nanášaniu po vrstvách podľa stanovenej geometrie. Má významný vplyv na rýchlosť a kvalitu tlače. Trysky môžeme deliť podľa veľkosti, vnútorného priemeru a materiálu. Na trhu nie je k dispozícii mnoho rôznych veľkostí dýz pretože veľkosť trysky je daná typom výhrevného bloku [9].

Vnútorný priemer trysky ovplyvňuje maximálnu výšku vrstvy, ktorá by nemala presiahnuť 80% z vnútorného priemeru. Napríklad pre trysku s priemerom 0,4 mm by výška jednej vrstvy nemala presiahnuť 0,32 mm. Menšie priemery dýz umožňujú tlač modelov so skoro voľným okom neviditeľnými vrstvami a vyššou rozmerovou presnosťou. Menšie priemery dýz sú však náchylnejšie na upchanie [9].

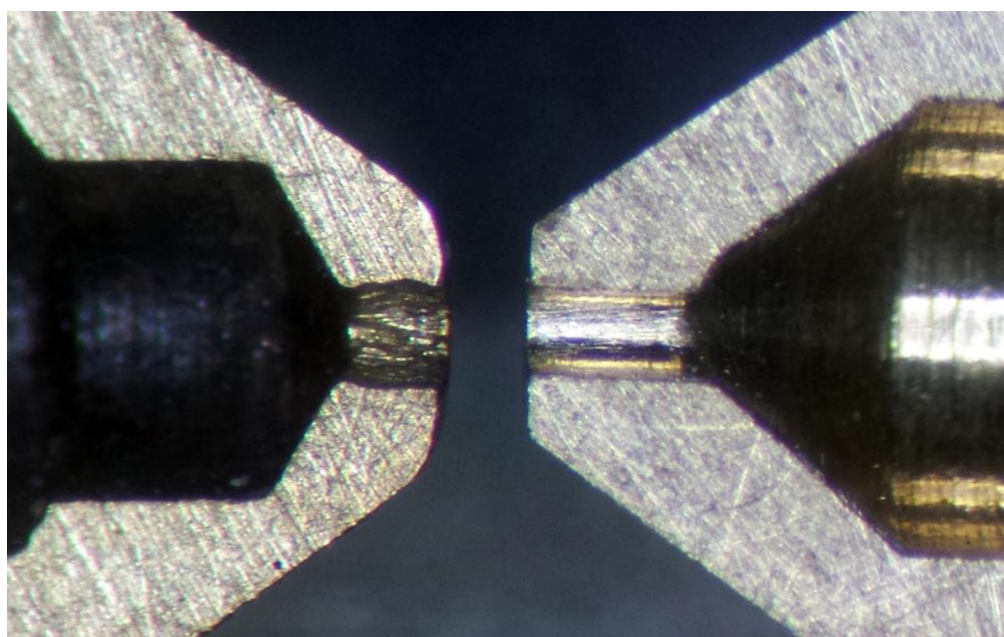
Najrozšírenejším materiálom na výrobu dýzy je mosadz kvôli dobrej tepelnej vodivosti a obráňteľnosti. Bežné sú tiež dýzy z medi s povlakom niklu ktorý znižuje

prilnavosť materiálu k dýze. Tieto dýzy majú vyššiu teplotnú vodivosť a umožňujú tlač materiálov až do 500°C. V Tab. 1 sú uvedené vlastnosti materiálov dýz pre 3D tlačiarne [10].

Tab. 1. Porovnanie vlastností materiálov dýz pre 3D tlačiarne

Materiál	Tepelná vodivosť λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Merná tepelná kapacita C [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Hustota ρ [kg.m ⁻³]	Teplota tavenia T_m [°C]
Meď	386	390	8900	1064
Hliník	237	920	2700	660
Mosadz	120	385	8400	850
Nástrojová oceľ	50	460	7850	460

Špeciálne materiály plnené kovovými práškami, uhlíkovými alebo sklenými vláknami sú vysoko abrazívne a pri pravidelnom používaní môžu úplne zničiť vnútorný povrch trysky. Z tohoto dôvodu sa pri abrazívnych materiáloch používajú nerezové trysky alebo trysky z tvrdennej ocele. Nerezové trysky navyše nekontaminujú materiál olovom a je ich možné použiť aj pre potravinárske použitie. Trysky z tvrdennej ocele sú najodolnejšie voči oteru zo všetkých spomenutých ale nižšia teplotná vodivosť materiálu spôsobuje pomalšie dosiahnutie cieľovej teploty. Na obrázku 1.4 je zobrazený rez mosadznou dýzou po vytlačení 250 g materiálu plneného uhlíkovými vláknami a trysku z tvrdennej ocele po vytlačení 2500 g [11].



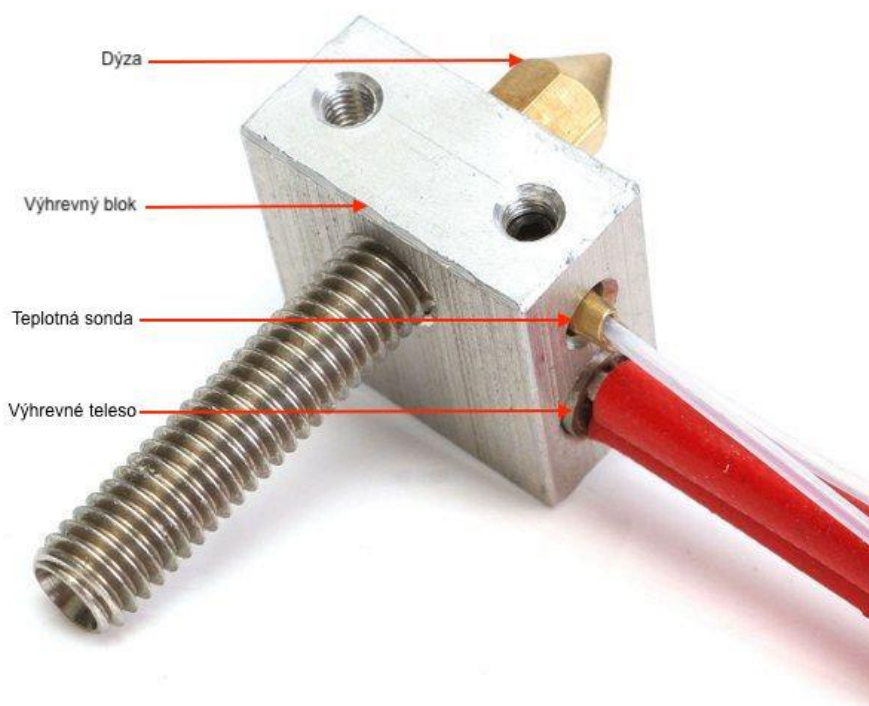
Obr.1.4 Rez mosadznou dýzou a dýzou z tvrdennej ocele [11].

2.2.2 Výhrevný blok

Výhrevný blok je časť tlačovej hlavy kde dochádza k prenosu tepla z výhrevného telesa na trysku. Výhrevné bloky sú vyrábané z hliníku pre teploty do 300°C a z mosadzi alebo medi pre teploty až do 500°C [12].

V bloku je taktiež umiestnená aj teplotná sonda ktorá má za úlohy merať aktuálnu teplotu výhrevného bloku. Najbežnejšie používané sú termistory termočlánky a PT100 sondy. Termistor je veľmi presný pri nižších teplotách ale nie je vhodný na teploty nad 285°C. Termočlánky umožňujú merať veľmi vysoké teploty ale je nutná kalibrácia pre konkrétny rozsah teplôt. Nie je s ním možné merať súčasne nízke aj vysoké teploty. PT100 sondy takmer úplne nahradili termočlánky pretože umožňujú merať teploty až do 500°C v vysokou presnosťou [13].

Vo výhrevnom bloku sa nachádza výhrevné teleso. Skladá sa v zásade z odporu cez ktorý prechádza elektrický prúd a vzniká teplo. Výkony výhrevných telies sa pohybujú 30-80W. Dostupné sú v dvoch variantoch 12V alebo 24V, použité napätie závisí od použitej základnej dosky [12].



Obr.1.5 Výhrevný blok - podľa[14].

2.2.3 Chladič

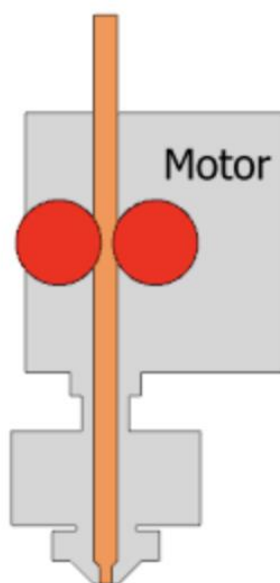
Chladič je dôležitou časťou medzi výhrevným blokom a extrudérom. Zamedzuje prenosu tepla z výhrevného bloku smerom k motoru aby nedochádzalo k nataveniu materiálu mimo trysky. Na chladič býva pripojený ventilátor ktorý napomáha k jeho ochladzovaniu. Najčastejšie vyrábaný z hliníku [15].

2.2.4 Extrudér

Extrudér je časť tlačovej hlavy ktorá privádza materiál od cievky cez chladič do výhrevného bloku a trysky. Pozostáva z krokového motora, ozubených kolies pričom hnané koleso má nastaviteľný prítlak a PTFE trubičky cez ktorú vlákno vedie. Nastaviteľný prítlak je potrebný kvôli rôznej tuhosti tlačných materiálov. Krokový motor musí mať veľmi malý sklon uhlu, väčšinou okolo $1,8^\circ$ aby dokázal presne nanášať jednotlivé vrstvy podľa zvolenej geometrie. Používajú sa tri hlavné typy extrudérov [16].

2.2.4.1 Priami extrudér

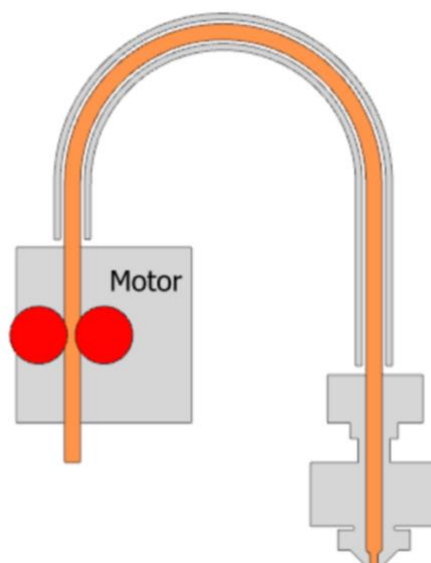
Priami extrudér je spravidla umiestnený nad tesne nad chladičom. Táto malá vzdialenosť umožňuje presnejšie ovládanie prísunu materiálu do výhrevného bloku a tak lepšiu reguláciu tlačného materiálu. Výhodou je možnosť tlače flexibilných materiálov a vyššia kvalita povrchu modelov. Spätný chod sa pohybuje v rozmedzí 0,8 až 1,8 mm v závislosti na tlačnom materiáli. Nevýhodou tohoto typu extruderov je malá vzdialenosť medzi motorom a taviacou komorou čo môže spôsobiť prehrievanie motora. Ďalšou nevýhodou je vyššia váha tlačovej hlavy, ktorá môže negatívne ovplyvniť výslednú kvalitu tlače [17].



Obr. 1.6 Priami extrudér [16].

2.2.4.2 Bowden extruder

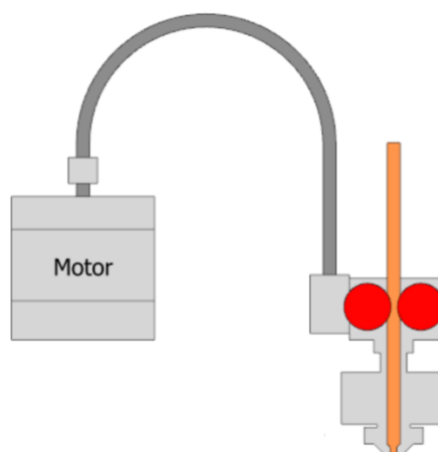
Bowdenový extruder má motor umiestnený mimo tlačovej hlavy, spravidla mimo komory tlačiarnie. Toto umiestnenie motora znižuje váhu tlačovej hlavy a umožňuje rýchlejšiu tlač. Tento typ je možné umiestniť do vyhrievanej komory bez ďalších dodatočných úprav. Jednou z hlavných nevýhod tohoto typu je neschopnosť tlačiť flexibilné materiály z dôvodu veľkej vzdialenosti medzi extrudérom a výhrevným blokom. Ďalšou z nevýhod je spätný chod motora ktorý sa pohybuje od 4,0 do 6,0 mm [17].



Obr.1.7 Bowden extruder [16].

2.2.4.3 Priami extrudér so vzdialeným pohonom.

Priami extruder so vzdialeným pohonom je kombináciou predchádzajúcich dvoch. Motor extruderu je uložený mimo komory tlačiarne pričom sila je prenášaná pružným hriadeľom do kladového mechanizmu ktorý reguluje prísun materiálu do taviacej komory. Tento typ extruderu vyžaduje kratší spätný chod ako pri bowdenovom type a umožňuje tak tlač aj flexibilných materiálov. Ľahká konštrukcia zase dovoľuje rýchlu tlač [18,19].



Obr.1.8 Priamy extruder so vzdialeným pohonom [16].

2.3 Typy konštrukcií FDM tlačiarňí

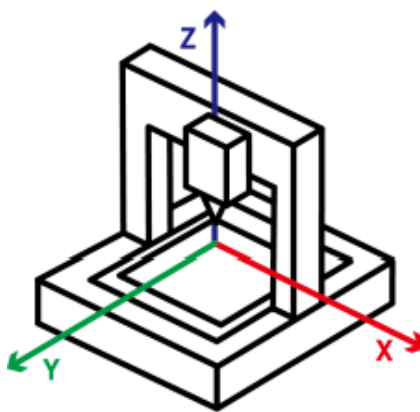
Tlačiarne môžeme deliť na základe použitej konštrukcie a kinematiky na štyri základné typy. Každý typ má špecifické využitie pre rôzny tvar modelov [20].

2.3.1 Kartézky

Kartézky typ tlačiarní je jeden z najrozšírenejších typov tlačiarní. Pri tomto type tlačiarní sú rozšírené 2 typy kinematiky pohybu. Prvý je založený na pohybe tlačovej hlavy v smere osy X a Z pričom tlačová podložka vykonáva pohyb len v smere osy Y. Najznámejšími predstaviteľmi tohoto typu sú tlačiarnie Prusa. Druhý typ je založený na princípe lineárneho pohybu tlačovej hlavy v ose X a Y a v ose Z sa hýbe len tlačová podložka. Toto riešenie môžeme nájsť u výrobcu Zortrax. Tento typ tlačiarní je univerzálny, môže to byť použitý priami extrudér ale aj bowden extrudér v závislosti na požadovaných parametroch tlače [20].

Výhodou kartézkeho typu je pomerne jednoduché riadenie. Výhodou oproti typu delta sú lepšie detaily a kvalitnejší povrch modelu [21].

Nevýhodou je rýchlosť tlače ale aj nedokonalé kruhové objekty v rovine XY [21].



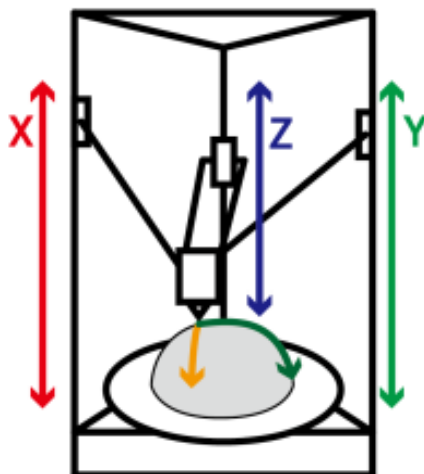
Obr.1.9 Kartézky typ tlačiarní [22].

2.3.2 Delta

Delta typ tlačiarní využíva 3 stĺpiky rozmiestnené na kruhovom pôdoryse v uhle 120° . Na každom stĺpiku sa nachádza rameno ktoré vykonávať pohyb iba v jednom smere ale pohybom všetkých troch ramien sa môže tlačová hlava pohybovať po celom obvode tlačovej podložky. Nerozdeľ od kartézkeho typu tlačiarní je tlačová podložka pevná a má kruhový tvar [23].

Výhodami tohoto typu tlačiarní je vyššia rýchlosť tlače. Tlačové hlavy sú navrhnuté tak aby boli čo najľahšie a tým mali čo najmenšiu zotrvačnosť. Nízku hmotnosť hlavy je poskytuje bowden extrudér. Ďalšiu výhodou je možnosť tlače vyšších modelov oproti kartézskemu typu [23].

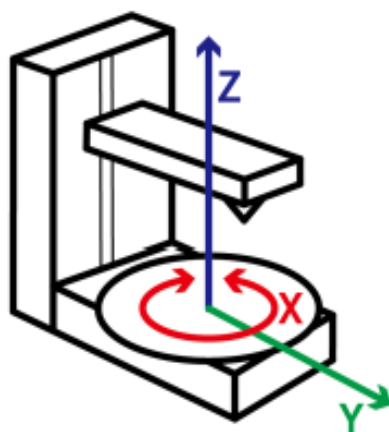
Najväčšou nevýhodou je bowden extruder ktorý znižuje sortiment materiálov ktoré je možné použiť [23].



Obr.1.10 Delta typ tlačiarnie [22].

2.3.3 Polárna

Konštrukcia tejto tlačiarnie využíva polárny súradnicový systém. Tlačová hlava sa pohybuje len s roviny Z a tlačová plocha rotuje okolo osy Z a pohybuje sa v smere osy Y. Polárne tlačiarnie nájdu využitie hlavne pri vysokých modeloch kruhového prierezu. Hlavnou nevýhodou je absencia vyhrievanej tlačovej podložky, čo neumožňuje zmrštivých materiálov [24].



Obr. 1.11 Polárny typ tlačiarnie [22].

2.3.4 SCARA

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) je typ tlačiarnie kde je na robotickom ramene umiestnená tlačová hlava. Tento typ tlačiarnie pripomína priemyselne roboty ktoré poskytujú väčšiu slobodu a flexibilitu pri tlači geometricky zložitých predmetov. Tento typ sa nevyužíva v takej miere pri FDM tlači ale hlavne pri tlači z kovu alebo betónu. V súčasnosti má tento typ tlačiarnie uplatnenie hlavne pri výstavbe konštrukcií budov, mostov a podobne [24].



Obr.1.12 SCARA typ tlačiarne [25].

2.4 Technologické parametre tlače

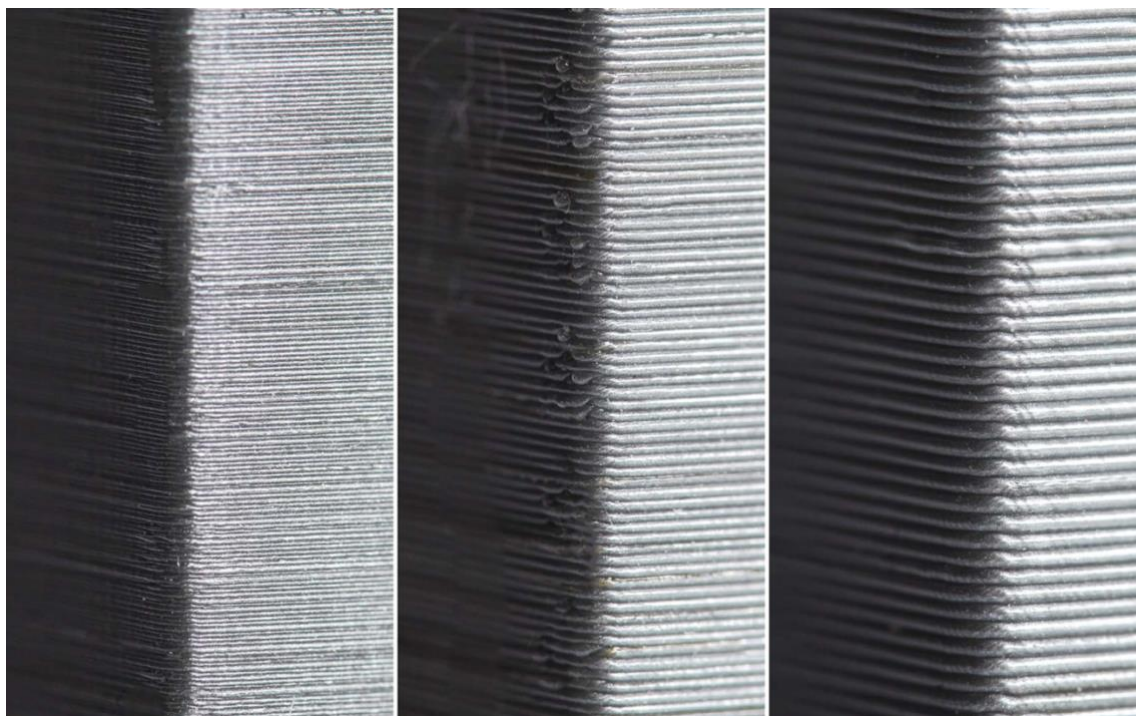
2.4.1 Teplota

Teplota tlače je jedným z najdôležitejších parametrov. Volí sa podľa použitého materiálu ale aj podľa rýchlosti tlače. Chemické zloženie termoplastu ovplyvňuje jeho teplotu skleného prechodu, teplotu pri ktorej sa mení z struna z tuhej štruktúry na gumovitú. Pri vyšších rýchlostiach tlače je potrebné zvýšiť teplotu aby sa podávaný materiál stíhol dostatočne nataviť a priľnul k ostatným vrstvám. Materiály majú veľkú škálu teplôt, od 190°C pre PLA až po 400°C pre PEI [26].

Ďalšou dôležitou teplotou je teplota tlačovej podložky. Niektoré materiály, ako napríklad ABS, majú vysokú teplotnú zmrštivosť a tá môže spôsobovať deformácie modelu. Vyhrievaná podložka umožňuje materiálom chladnú pomalšie a tak minimalizuje deformáciu. Teplota tlačovej podložky je veľmi dôležitá pri nanášaní prvej vrstvy, predhriata položka poskytuje lepšie priľnavosť a tým zaisťuje že sa model počas tlače neuvoľní. Teploty tlačovej podložky sa pohybujú od 60°C pre PLA až po 110°C pre nylon [26].

2.4.2 Výška vrstvy

Výška jednotlivých vrstiev ovplyvňuje kvalitu výsledného povrchu, mechanické vlastnosti modelu a rýchlosť tlače. Výškou vrstvy môžeme ovplyvniť aj geometrickú presnosť modelu hlavne na plochách s väčším zakrivením a pri kruhových otvoroch. Tento parameter taktiež ovplyvňuje rýchlosť tlače modelu, čím nižšia výška vrstvy tým pomalšia tlač. Výška vrstiev sa volíme v CAM systéme podľa použitej dýzy a požadovaných vlastností modelu. Výška jednotlivých vrstiev nemusí byť rovnaká v celej výške ale ju možné meniť [27].



Obr.1.13 Výška vrstvy 0,05, 0,1, 0,3 mm (z ľava do prava) [28].

2.4.3 Výplň

Na rozdiel od ostatných tradičných postupov výroby, môžeme pri 3D tlači ovládať hustotu a vzor výplne. V CAM systémoch si je možné zvoliť hustotu výplne od 0% čo značí dutý model a 100% značí plný model. Pokiaľ to nie je nevyhnutné, napríklad na mechanické skúšky, nebýva objem telesa úplne vyplnený. Okrem úspory materiálu je aj úspora času. Niektoré CAM systémy umožňujú variabilnú hustotu výplne v rôznych častiach modelu. Výplňový vzor určuje štruktúru a tvar materiálu vo vnútri dielu. [29,30].



Obr.1.14 Vzory výplní - podľa [29].

Na obrázku 1.14 sú znázornené tvary jednotlivých výplní, ktoré sa označujú:

- | | |
|------------------|-------------------------------|
| 1 trojuholníková | 9 Archimedean chords |
| 2 kubická | 10 koncentrická |
| 3 čiarová | 11 plást |
| 4 Hilbertova | 12 hviezdicová |
| 5 gyroid | 13 priamočiara natočená o 45° |
| 6 octagram | 14 zarovnaná |
| 7 priamočiara | 15 mriežka [29]. |
| 8 špirálová | |

2.4.4 Rýchlosť

Pri 3D FDM tlači rozdeľujeme rýchlosť do dvoch kategórií, rýchlosť tlače a rýchlosť posuvov [31].

Rýchlosť tlače má významný vplyv nielen sa dobu trvania tlače ale aj na kvalitu. Musí byť vhodne zvolená pretože pri pomalejšej tlači môže dochádzať k deformáciám materiálu, spôsobenou dýzou ktorá prehreje okolitý materiál. Na druhej strane, rýchlosť nemôže byť vysoká aby sa materiál stíhal správne nanášať na predchádzajúce vrstvy. Rýchlosť tlače ovplyvňujú dva základné parametre a to druh použitého materiálu a teplota dýzy [31,32].

Rýchlosť posuvov je odlišná od rýchlosti tlače tým že pri nej dýza nenanáša materiál, a nemôže tak ovplyvniť kvalitu tlače iba jej trvanie. Rýchlosť posuvov je limitovaná konštrukciou tlačiarne. Najrýchlejším typom sú delta tlačiarne [32].

2.4.5 Orientácia tlače

Orientácia modelu je veľmi dôležitý faktor z hľadiska estetických a mechanických vlastností. Pri funkčných modeloch je potrebné zvážiť smer pôsobenia najväčších síl a diel orientovať tak aby jednotlivé vrstvy boli rovnobežné s ich smerom. Pri modeloch kde nie sú kladené vysoké nároky na mechanické ale na estetické je potrebné aby podpory, previsy alebo mosty sa nenachádzali na pohľadových plochách modelu [33].

2.4.6 Most

Mosty vznikajú na miestach kde by bol materiál tlačенý do vzduchu. V týchto miestach by mohlo dochádzať k priehybu tlačeneho materiálu vplyvom vysokej teploty a gravitačnej sily čo by malo za následok nevhodnú geometriu výtlaku. Pre väčšie medzery sa je nutné použiť podpory [34].

Pre menšie medzery je možné tento problém čiastočne eliminovať dvoma spôsobmi. Pri prvom je rýchlosť tlače spomalená a mierne zvýšená prietok materiálu.

Pri druhom spôsobe je rýchlosť zvýšená a prietok materiálu zvýšený čo má za následok rýchle vytvorenie mostu a priehyb sa nestihne vytvoriť [34].

2.4.7 Podpora

Podpora je vytlačený materiál ktorý slúži k prekonaniu technologických limitov FDM tlače. Podpory delíme na 2 druhy. Prvým druhom sú podpory z rovnakého materiálu ako je samotný model. Ich výhodou je rýchla tlač a je ich možné použiť aj na tlačiarni s jedným extrudérom. Nevýhodou je ich nutnosť mechanického odstránenia a horší povrch v mieste ich použitia. Druhým druhom sú rozpustiteľné podpory. Pri ich tlači je nutné mať aj druhý extruder, pričom prvý extruder tlačí materiál modelu a druhý materiál podpôr. Tieto podpory sa odstraňujú chemicky vo vhodnom médiu, ako napríklad D-limonéne, izopropylalkohole alebo vo vode [35].

2.4.8 Okraj

Okraj je vrstva materiálu, ktorá má väčší rozmer ako tlačený model. Jej úlohou je zaistiť pevnejšie prichytenie modelu k tlačovej podložke. Použitie okraju nachádza využitie pri tlači vysokých a tenkých modelov alebo pri tlači materiálov ktoré majú vysokú teplotu rozťažnosti a sú náchylné na deformácie. Tento pridaný materiál je po skončení tlače nutné mechanicky odstrániť [35].

2.5 Materiály

Správna voľba materiálu je kľúčovým faktorom ovplyvňujúca tlačiteľnosť modelu, mechanickú a termomechanickú odolnosť a výsledný vzhľad. V oblasti materiálov používaných v oblasti 3D tlače prebieha s neustále k zdokonaľovaniu vývoju nových materiálov. Väčšina materiálov je syntetická, pochádzajúca z petroliemyslu, ale čoraz väčšie obavy o životné prostredie nútia výrobcov vyvíjať materiály z obnoviteľných zdrojov [36,37].

Pozornosť je nutné venovať aj skladovaniu materiálov nakoľko množstvo druhov materiálov pohlcuje vlhkosť z okolia tzv. hygroskopicitu. Vlhký materiál má negatívny vplyv na mechanické aj estetické vlastnosti modelu. Pozornosť je dobré taktiež venovať voľnému koncu tlačovej struny ktorý sa môže podvliecť pod uvoľnený filament na cievke a následne pri odvíjaní zaseknúť [36,37].

2.5.1 PLA

Pod touto skratkou sa skrýva kyselina mliečna (polylactic acid). Je to biologicky rozložiteľný materiál, vyrábaný najčastejšie z kukuričného škrobu. Patrí medzi najrozšírenejšie materiály medzi hoby tlačiarmi, kvôli jeho bezproblémovej tlači a cenovej dostupnosti. PLA je dodávaný v širokej škále farieb a v rôznych kompozitoch imitujúcich vzhľad dreva alebo kovu. Výhodou tohoto materiálu je tlač veľkých objektov kvôli jeho pomerne nízkej teplotnej rozťažnosti ale aj možnosť tlače drobných detailov. Medzi jeho nevýhody patrí nízka teplotná odolnosť, stráca mechanické vlastnosti pri vystavení teplotám nad 60°C a citlivosť na UV žiarenie. Teplota tlače sa pohybuje v rozmedzí od 190-220°C. Podložka nemusí byť vyhrievaná, ale odporúča sa v rozmedzí od 20-60°C [38,39].

2.5.2 PET-G

PET-G je verzia PET (polyetyléntereftalát) s modifikovaným glykolom, ktorý spôsobuje väčšiu pružnosť materiálu. Je to materiál s dobrou odolnosťou proti nárazu, ale má mierne mäkkší povrch, vďaka ktorému je náchylný na opotrebovanie. V porovnaní s PLA má vyššiu teplotnú odolnosť je pružnejší a menej krehký. Podobne ako pri PLA má malú teplotnú rozťažnosť a dobre drží na podložke. Je 100% recyklovateľný, pričom si zachováva svoje vlastnosti. PET-G sa často používa na tlač vodotesných modelov. Pre zlepšenie mechanických vlastností je často plnený rôznymi aditívami ako napríklad uhlíkové alebo sklenené vlákna. Tento materiál môže prichádzať aj do styku s potravinami. Je odolný aj voči rozpúšťadlám a kyselinám. Pri tlači má tendenciu stingovať, ťahať tenké vlákna plastu za dýzou počas prejazdu čo možno čiastočne eliminovať zvýšením spätného chodu. Tento materiál nie je vhodný na tlač malých modelov a presných detailov. Teplota tlače sa pohybuje v rozmedzí 240-260°C. Teplota podložky sa pohybuje okolo 70-80°C [40,41].

2.5.3 ABS

ABS je jedným z prvých a najviac používaných materiálov vhodných na 3D tlač. Známy je svojou húževnatosťou, odolnosťou voči nárazom a oproti PET-G je menej náchylný na opotrebenie. Má vyššiu teplotu topenia, ne stráca mechanické vlastnosti pri vyšších teplotách ako PLA. Má vyššiu teplotnú rozťažnosť ako PLA alebo PET-G. Pri tlači sa odporúča používať vyhrievanú komoru aby sa zabránilo deformáciám modelu pri rýchlom chladnutí materiálu. ABS je možné leptať acetónom na dosiahnutie hladkého a lesklého povrchu. Pri jeho tlači vzniká nepríjemný zápach, preto je potrebné zaistiť dostatočne vetrané priestory. Teploty tlače sa pohybujú 245-265°C. V tomto prípade je dôležitá teplota podložky ktorá sa pohybuje v rozmedzí 80-110°C [42,43].

2.5.4 ASA

ASA sa považuje za nástupcu ABS. V oblasti 3D sa stáva čoraz obľúbenejším kvôli jeho vyššej odolnosti UV žiareniu a nižšej tepelnej rozťažnosti. Je odolný voči nárazom a poveternostným vplyvom. Má nižšiu teplotnú rozťažnosť ako ABS, dochádza k menším deformáciám a preto je jednoduchší na tlač. ASA je taktiež možné leptať acetónom na dosiahnutie hladkého a lesklého povrchu. Teplota tlače aj podložky ostáva rovnaká ako pri ABS [44].

2.5.5 Nylon

Nylon (polyamid) je v praxi najpoužívanejší materiál na technické účely. Je veľmi odolný voči mechanickému namáhaniu a veľmi flexibilný v tenkých vrstvách. má nízky koeficient trenia a vysokú teplotu topenia. Materiál ponúka vysokú presnosť tlače aj malých detailov. Na trhu je dostupných niekoľko rôznych druhov ako napríklad PA618 alebo PA6. Pre zvýšenie jeho mechanických vlastností podobne ako u PET-G býva často plnený rôznymi aditívami, najčastejšie aramidovými alebo uhlíkovými vláknami. Jeho hlavnou nevýhodou je vysoká hygroskopickosť, absorpcia vlhkosti z okolitého prostredia, preto je ho nutné skladovať v suchu. Pri tlači s vlhkým polyamidom sa môžu objavovať nežiadúce dutiny v výtlačku spôsobené prudkým vyparovaním

absorbovanie vlhkosti. Navyše má vysokú teplotnú rozťažnosť a pri rýchlom chladnutí je náchylný na deformácie. Pri tlači je potrebné používať vyhrievanú komoru a vypnúť chladiace ventilátory. Pri tlači z tohoto materiálu sa odporúča použiť prípravky zvyšujúce adhéziu, ako napríklad lepidlo alebo 3DLac. Teploty tlače sa pohybujú od 240°C do 265°C. Teplota podložky je porovnateľná s teplotou ABS [45,46].

2.5.6 HIPS

HIPS má dva rôzne druhy aplikácie. Používa sa pri ABS/ASA ako podporný materiál vďaka jeho rozpustnosti v D-limonéne čím zanechá model hladký bez viditeľných ostatkoch po podporách. Ako značí jeho názov (High Impact Polystyrene), je odolnejší voči nárazom a ľahší ako ABS/ASA. Má taktiež vysokú teplotnú odolnosť a menšiu teplotnú rozťažnosť čo uľahčuje jeho tlač. Podobne ako nylon je hygroskopický Teploty tlače sa pohybujú od 215°C do 225°C [47].

2.5.7 PVA

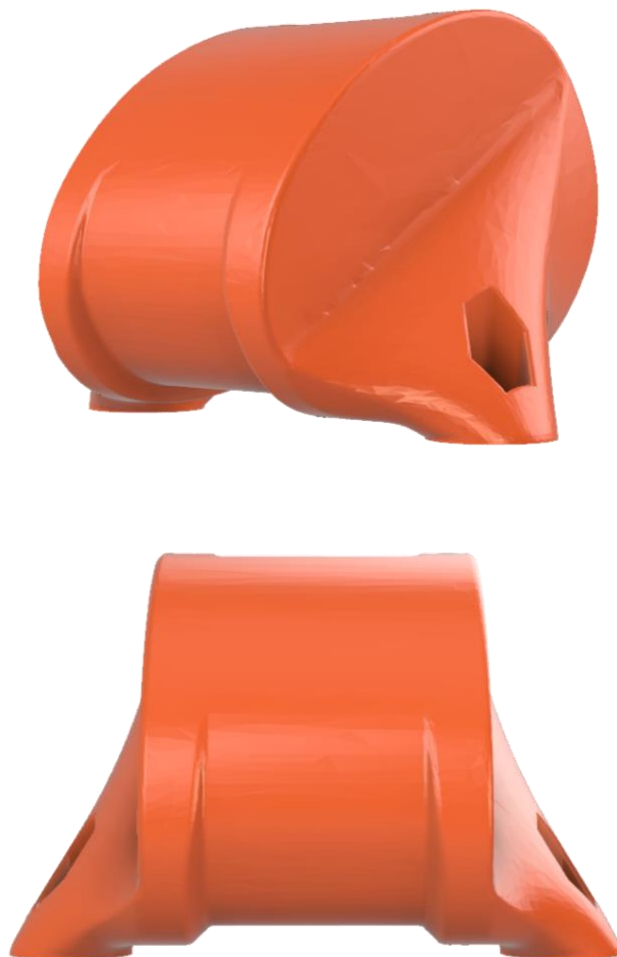
Jedná sa o vodou rozpustný materiál, vďaka tomu je používaný ako podporný materiál hlavne s PLA kde by D-limonéne mohol narušiť model. Jeho nevýhodou sú vyššie obstarávacie náklady a hygroskopicita materiálu [46].

2.5.8 TPU

Termoplastický polyuretán je najbežnejší pružný materiál. Patrí do skupiny elastomérov. Má široké využitie nielen v oblasti 3D tlače ale aj v konvečnej výrobe. Vyrábajú sa z neho podrážky tenisiek, obaly na telefóny lekárske pomôcky. Má vysoký elastický rozsah pohybujúci sa v rozmedzí 600% až 700%. Jeho tvrdosť závisí na použitých polyméroch. Ďalšou jeho výhodou je vysoká odolnosť voči oteru. Materiál je schopný odolávať teplotám do 80°C. V porovnaní s inými pružnými materiálmi je jeho tlač jednoduchšia. Teploty tlače sa pohybujú v rozmedzí 220-250°C, a teplotou podložky okolo 60°C [48].

3 NÁVRH MODELU DRŽIAKA

Držiak na športové hodinky bude upevnený v prednej časti provy kajaku. Držiak musí byť vode odolný a musí mať ku kajakárovi mierny sklon aby mu poskytoval dobrý pohľad na displej. Ďalej musí byť zaistená ľahká montáž a demontáž silikónových prísavok, z dôvodu ich opotrebenia a potrebnej výmeny.



Obr. 3.1. Model držiaka športových hodín.

3.1 Posúdenie technologickosti modelu

3.1.1 Mosty

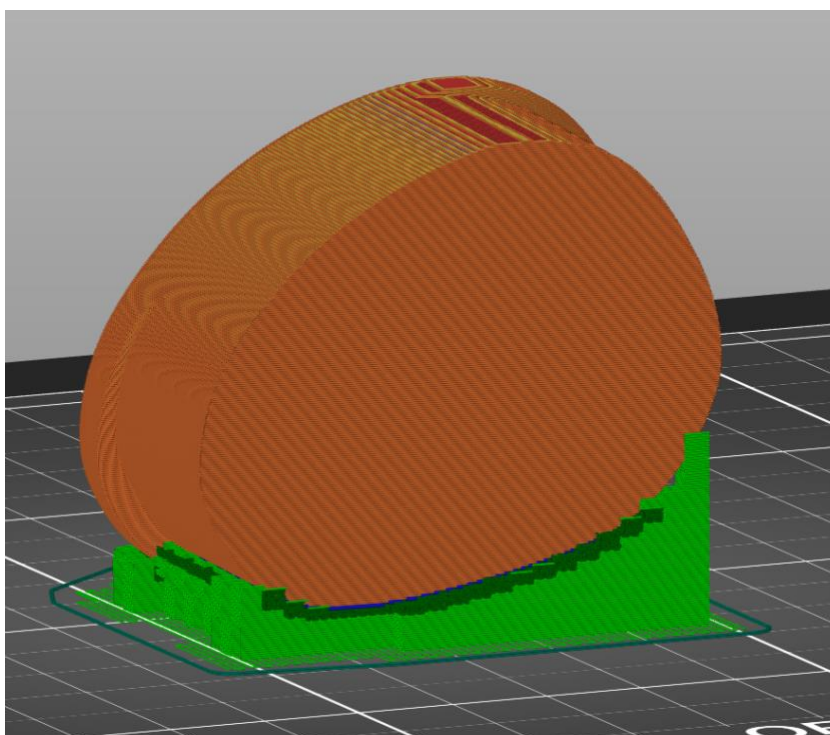
Držiak bude tlačený stykovými plocha s prísavkami nadol aby bol zaistený rovný povrch pre ich montáž. Pri tejto polohe tlaču ale vzniknú mosty, kde by bol materiál tlačný do vzduchu. Tento problém je možné vyriešiť tlačovými podporami ktoré poskytnú podpornú plochu pre prvé vrstvy mostu a po dokončení tlaču budú odstránené. Nakoľko použitá tlačiareň má len jeden extruder nie je možné tlačiť s rozpustiteľnými podperami. Aj napriek použitiu podpôr bude mať povrch horšiu kvalitu ako povrch ktorý by bol tlačný rovno na podložku. V tomto prípade sa jedná

ale o plochu ktorá nebude pohľadová preto tento povrch nebude mať vplyv na estetiku držiaka. Problém môžeme spôsobiť nesúdržnosť vrstiev v mieste mostu ktorá by mohla ovplyvniť jeho vodotesnosť a preto bude pri preprocesingu zvolená vyššia výška škrupiny na spodnej časti držiaka.

3.1.2 Previsy

Na tomto modeli sa nachádzajú zaoblenia aj spodnej strane. Zaoblenia orientované pri tlači smerom hore nie sú vhodné pretože by dochádzalo k previsom materiálu a ako pri mostoch by im bolo potrebné poskytnúť podpornú plochu. Preto bude model upravený, zaoblenia sa nahradia skoseniami o 45° ktoré je možné tlačiť aj bez podporných plôch.

Na obr. 2.2 sú vytvorené podporné plochy (znázornené zelenou) pod postami a prevismi na tele modelu v reze.



Obr. 3.2 Podporné plochy pod mostami a prevismi.

3.1.3 Presnosť rozmerov

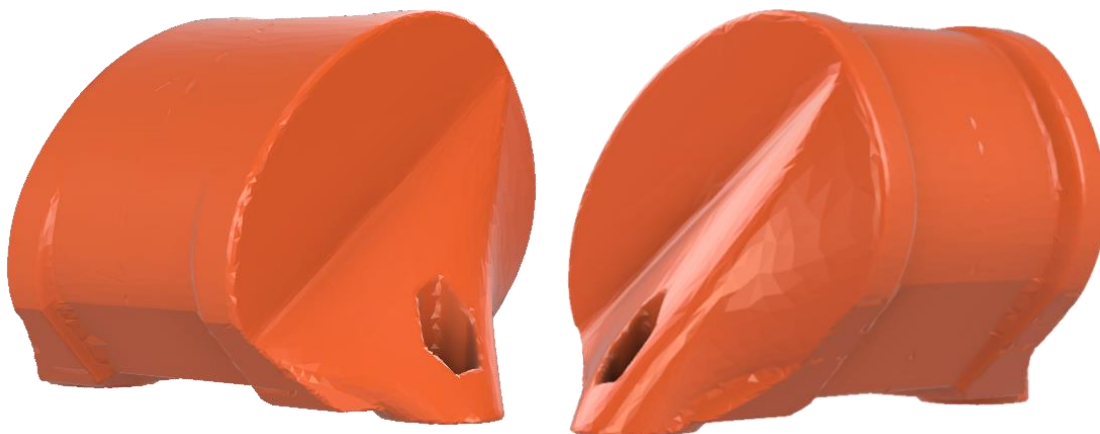
Na modeli sa nachádzajú aj funkčné rozmery, konkrétne šesťhranné otvory pre matice M4 s poistným polyamidovým krúžkom a dieru pre skrutku M4. Diery sú kolmé na tlačovú podložku čím je čiastočne obmedzená deformácia geometrie diery a preto nebude potrebné predvŕtať alebo nijak inak pred montážou upravovať. Priemer vytlačeného materiálu má obdĺžnikový tvar s polkruhovým zakončením, môže tak dochádzať k rozmerovým nepresnostiam. Týmto nepresnostiam sa je možné z časti vyhnúť tlačením najprv obrysových rozmerov.

3.1.4 Ostré hrany

Na tele sa nenachádzajú ostré hrany alebo prechody ktoré nie je tlačiareň schopná vytlačiť. Dýza nedokáže materiál naniesť do pravých uhlov a preto ich nahradzuje minimálnymi polomerami.

3.1.5 Výsledný model

Na výslednom modeli boli zaoblenia na spodnej strane nahradené skoseniami pod uhlom 45° a zväčšené diery pre skrutky M4 aby bola zaistená ich bezproblémová montáž.



Obr. 3.3 Výsledný model držiaka

3.2 Voľba materiálu

Držiak na športové hodinky bude používaný vo vonkajšom prostredí, bude vystavený priamemu kontaktu so sladkou ale aj slanou vodou. Požiadavky kladené na materiál sú hlavne jeho odolnosť voči vode. Držiak nebude výrazne mechanicky namáhaný ale musí byť odolný voči nárazom a pádom ktoré môžu pri preprave nastať. Z tohoto dôvodu nie je vhodné použiť materiál PLA ktorý je biologicky. ABS a ASA sú zložitejšie na tlač z hľadiska teplotnej rozťažnosti materiálu čo by komplikovalo výrobu. Keďže držiak nebude výrazne mechanicky namáhaný a s ohľadom na ekonomickosť výroby nebude pri tlači použitý nylon ani HIPS. PVA je absolútne nevhodný z dôvodu rozpustnosti vo vode. Najvhodnejšou voľbou materiálu je PET-G, ktorý má dobré mechanické vlastnosti, je odolný voči vode, obstarávacie náklady sú pomerne nízke a jeho tlač je jednoduchá. Technický list materiálu je uvedený v prílohe 1.

3.3 Voľba výšky vrstvy

Pre voľbu výšky vrstvy bola vykonaná statická ťahová skúška, na zistenie medze pevnosti materiálu pre rôzne výšky vrstiev.

3.3.1 Medza pevnosti

Ťahové charakteristiky materiálu sú základnými údajmi o každom materiáli. Ich princíp spočíva v jednoosom ťahovom namáhaní skúšobného vzorku. Skúška pozostáva z upnutia vzorku do čeľustí skúšobného stroja a následne je jedna čeľusť uvedená do pohybu a je zaznamenávaná vyvinutá sila potrebná deformáciu vzorku. Medza pevnosti je pomer maximálneho napätia v ťahu, ktoré zodpovedá najväčšej sile F_{\max} nameranej v priebehu skúšky, a plochy prierezu pôvodného vzorku. Jeho hodnota je stanovená pomocou rovnice:

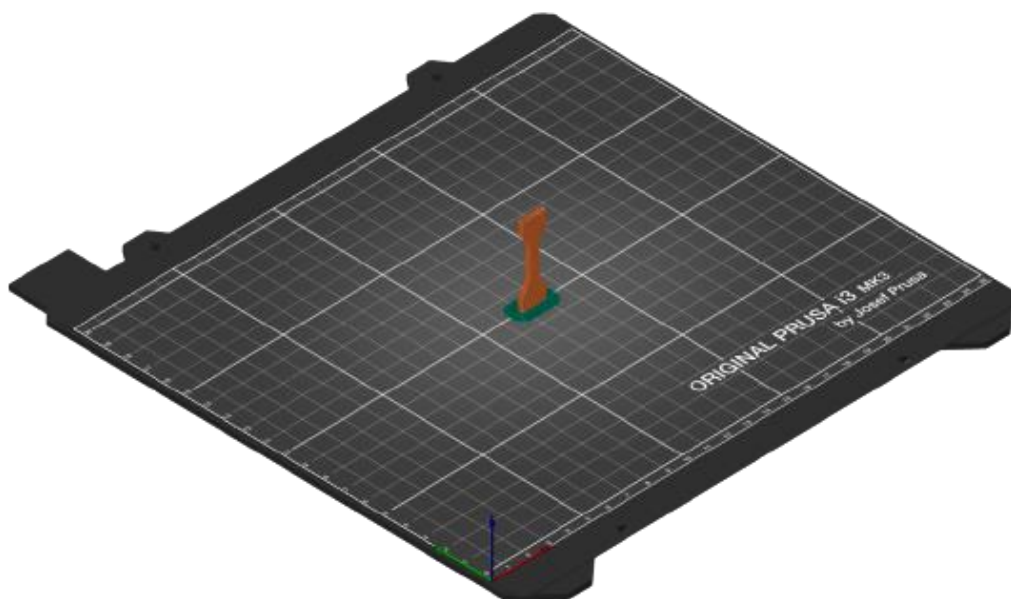
$$\sigma_m = \frac{F_{\max}}{S_0} [MPa] \quad (1)$$

kde: F_{\max} [N] maximálna sila
 S_0 [mm²] plocha prierezu vzorku.

Testovacie vzorky boli tlačené kolmo na rovinu tlačovej podložky aby bolo možné merať adhéziu medzi vrstvami. Počet perimetrov bol zvolený na 2. Výplň bola 100% a smer orientácie bol 45°. Pri tlači bola použitá funkcia límca (zelená plocha na obr. 2.2.), ktorá zamedzovala odlepeniu vzorku od tlačovej podložky. Použitie funkcie límca nemá vplyv na mechanické vlastnosti testovaných vzorkov. Kvôli zachovaniu čo najvyššej rozmerovej presnosti boli vonkajšie perimetre tlačené ako prvé. Vzorky boli vyhotovené vo výške vrstvy 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 a 0,3mm. Z každej výšky vrstvy bolo vyhotovených 5 testovacích vzorkov ktoré boli následne testované. Výsledky jednotlivých testov sú uvedené v tab. 2.1.

Tab. 3.1 Výsledky testov

Výška vrstvy [mm]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
1. Skúška [MPa]	44,89	38,89	36,45	31,29	26,13
2. Skúška [MPa]	46,19	38,84	36,39	29,89	27,14
3. Skúška [MPa]	46,00	37,22	34,01	28,84	25,35
4. Skúška [MPa]	46,58	37,77	34,71	30,07	27,39
5. Skúška [MPa]	44,42	38,04	34,77	30,01	26,28



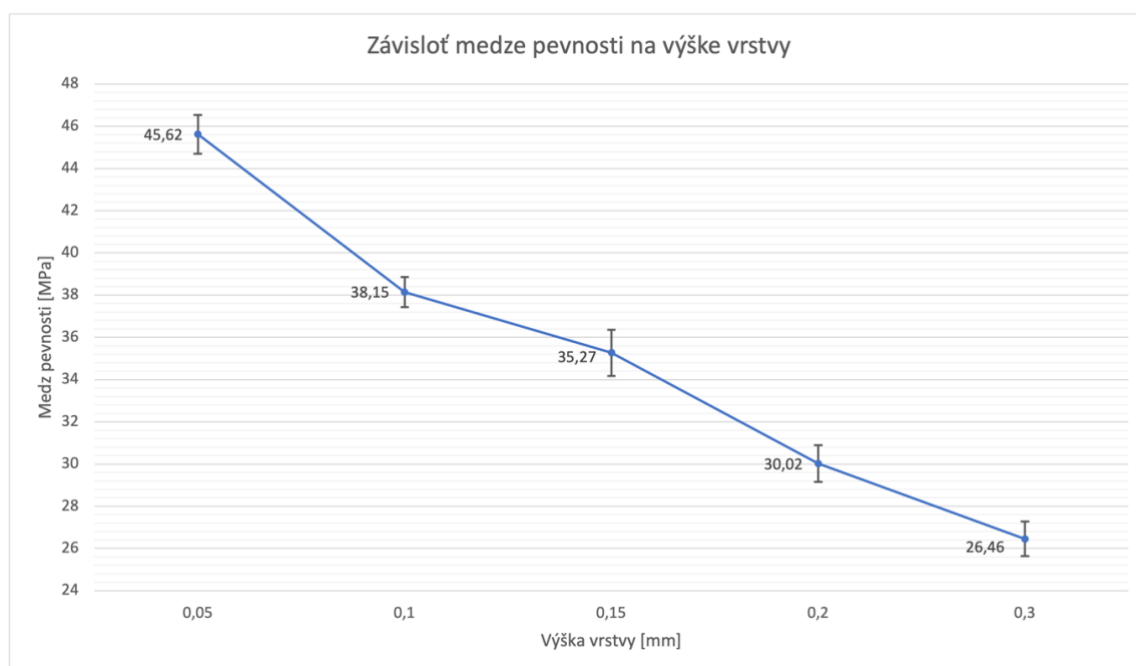
Obr.3.4 Snímka orientácie tlače vzorku pre ťahovú skúšku z programu PrusaSlicer 2.3.0



Obr. 3.5 Lomová plocha skúšobného vzorku.

Na obrázku 2.5 je možné vidieť že lom nenastal medzi jednotlivými vrstvami ale prechádza skrz vrstvy.

Výsledky boli spracované v programe Microsoft Excel a bol z nich vytvorený graf 2.1. V grafe môžeme vidieť zaznačený aritmetický priemer medze pevnosti z testov a ich smerodajnú odchýlku.



Graf 3.1 Závislosť medze pevnosti na výške vrstvy.

Z grafu 2.1. je možné vidieť že medza pevnosti je takmer lineárne závislá na výške vrstvy. Najväčší rozdiel medzi jednotlivými výškami vrstiev je medzi 0,05 mm a 0,1 mm, kde tento rozdiel dosahuje 16,4%. Najmenší rozdiel je medzi 0,1 mm a 0,15 mm, kde je tento rozdiel 7,6%. Priemerný úbytok pevnosti na vrstvu činí 12,7%. Tieto výsledky môžu byť skreslené absenciou vrstvy 0,25 mm.

3.3.2 Vplyv výšky vrstvy na čas tlače

Výška vrstvy ovplyvňuje nie len mechanické alebo estetické vlastnosti ale aj čas tlače. Čas je dôležitým ekonomickým faktorom pri výrobe produktov a preto výška vrstvy musí byť zvolená s ohľadom na mechanické ale aj ekonomické požiadavky.

Čas tlače potrebný na vyhotovenie jedného dielu bol určený za pomoci programu PrusaSlicer 2.3.0. Čas tlače pri jednotlivých vrstvách pre výplň 5% je uvedený v tab. 2.3.

Tab. 3.2 Čas tlače pre výplň 5%.

Výška vrstvy [mm]	Čas tlače [h]
0,05	10,48
0,10	4,4
0,15	2,77
0,20	2,07
0,30	1,3

3.3.3 Výška vrstvy

Na modeli na nenachádzajú žiadne malé detaily a s ohľadom na minimálne mechanické zaťaženie držiaka a ekonomickosť výroby je výška vrstvy zvolená 0,20 mm.

3.4 Voľba výplne

Jedným z hlavných kritérií kladených na držiak je jeho váha. Držiak bude namáhaný iba váhou samotných hodínok a silou vzniknutou pri zrýchľovaní kajaku. Ako vzor výplne bol použitý gyroid, pretože poskytuje podporu vo všetkých troch smeroch. Hustota výplne bola zvolená 5%. Kombinácia týchto dvoch parametrov poskytuje dostatočne pevnú konštrukciu a váha držiaka ostáva nízka.

Tab. 3.3 Váha držiaka.

Hustota výplne [%]	Váha [g]
0	14,81
5	21,95
10	27,04
15	31,98
20	36,97

4 KONTROLA POMOCOOU MKP

Účelom kontroly pomocou metódy konečných prvkov bolo určiť maximálna napätie na tele držiaka, ktoré bude pôsobiť v mieste uchytenia prísavok pomocou skrutiek. Na základe týchto napätí bolo možné rozhodnúť či model spĺňa požiadavky na pevnosť.

Kontrola bolo urobené v programe Autodesk Inventor 2021 v systémovej prostredí pre pevnostnú analýzu. Pôsobisko sily bolo zvolené v ťažisku držiaka. Pre určenie pôsobiacej sily bol použitý vzťah 2. Hmotnosť hodiniek bola zvolená 0,150 kg a maximálne zrýchlenie kajaku 5 m/s.

$$F = (m_d + m_h) \cdot a \text{ [N]} \quad (2)$$

$$F = (0,02195 + 0,150) \cdot 5 = 0,86 \text{ [N]}$$

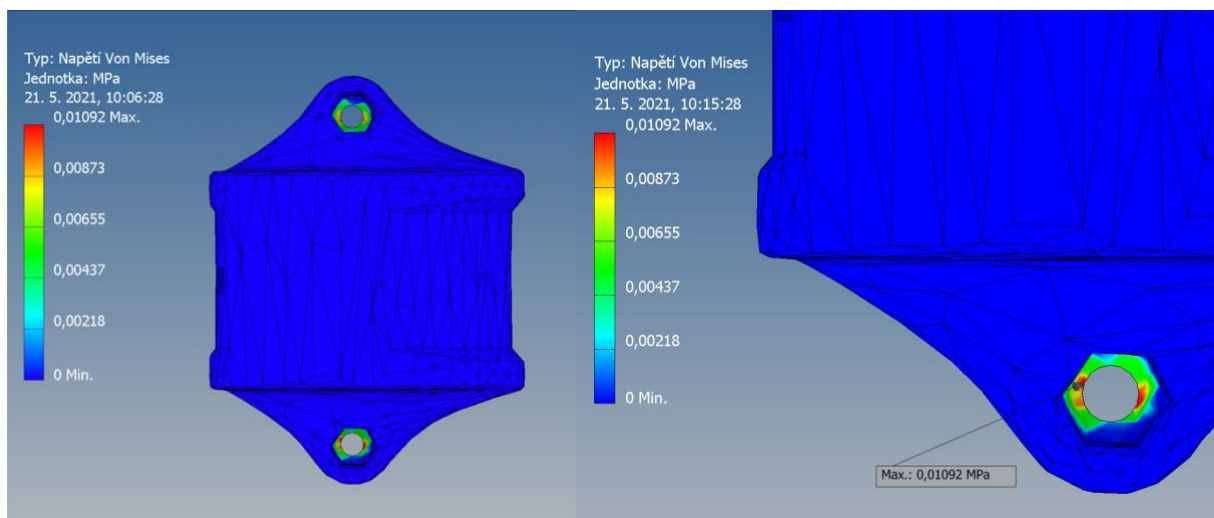
kde: m_d [kg] hmotnosť držiaka
 m_h [kg] hmotnosť hodiniek
 a [m/s²] zrýchlenie kajaka.

Použitý materiál pre analýzu držiaka bol PET plast, vybraný z knižnice materiálov Autodesk Inventor.

Pre vyhodnotenie bolo použité von Misesovo kritérium, ktoré určuje veľkosť napätia podľa vzťahu 3.

$$\sigma_{RED} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (3)$$

Pri zaťažení držiaka dochádza k najväčšiemu napätiu na prednej hrane diery pre skrutku. Maximálna napätie v tomto mieste nadobúda hodnotu 0,01092 MPa čo je niekoľko násobne menej ako je medza pevnosti materiálu. Preto je možno prehlásiť že úchyt prešiel kontrolou pomocou metódy konečných prvkov.



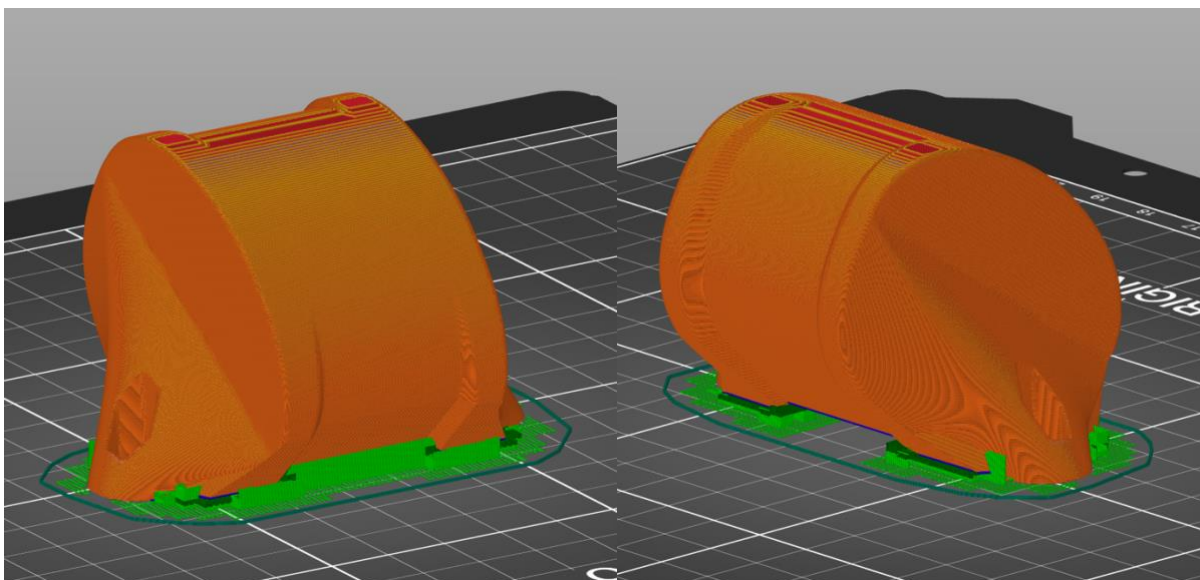
Obr. 4.1 Napätie pri zaťažení držiaka

5 VÝROBA DRŽIAKA

5.1 Preporcesing

Pred začatím tlače bolo potrebné previesť model do formátu (G-kód) ktorý je možné importovať do 3D tlačiarne. Jednotlivé programy na tvorbu G-kódu môžu používať jeho rôzne druhy a preto nemusí byť medzi rôznymi tlačiarňami kompatibilný. Ako CAM program bol zvolený PrusaSlicer 2.3.0, voľne dostupný od firmy Prusa Research a.s. s prednastavenými profilmi pre ich tlačiareň Prusa MK3S ktorá bude použitá na výrobu držiaka. Druh použitého G-kódu je Merlin.

Do programu bol importovaný model držiaka vo formáte STL z programu Autodesk Inventor 2021. Poloha tlače bola zvolená stykovými plochami s prísavkami na plochu tlačovej vid'. Obr. 4.1. Program modelu (znázornený oranžovou farbou) automaticky vytvoril potrebné podpory (znázornené zelenou). Vytvorený G-kód bol pomocou SD karty importovaný do tlačiarne.



Obr. 5.1

Ďalšie parametre tlače sú uvedené v Tab. 4.1.

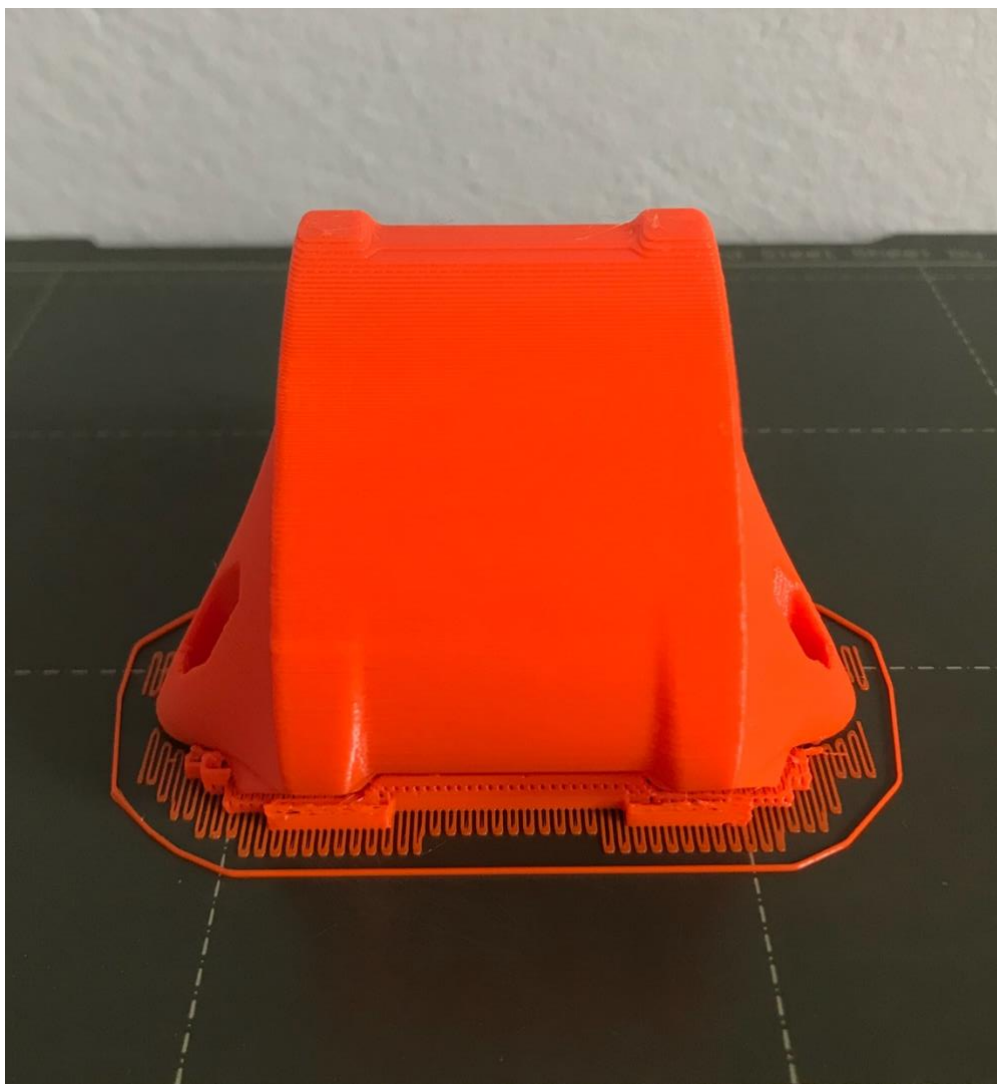
Tab. 4.1 Parametre tlače.

Výška vrstvy [mm]	0,2
Teploty dýzy [°C]	250
Teplota podložky [°C]	90
Typ výplne	Gyroid
Hustota výplne [%]	5
Minimálna hrúbka škrupiny [mm]	0,8

Medzera medzi podporami a modelom [mm]	0,1
Rozostup podpier [mm]	0,2
Typ podpôr	Priamočiare
Spätný chod [mm]	1,8

5.2 Tlač modelu

Tlač modelu bola realizovaná na tlačiarni Prusa MK3S s hladkou tlačovou podložkou. Použitá bola dýza z tvrdenej ocele. Celková dĺžka tlače bola 2,2 hodiny a použitých bolo 23,57 gramov materiálu. Váha samotných podperných plôch činila 1,62 gramu. Tlač prebehla bez problémov, ťahanie vlákien roztaveného plastu za dýzou bolo minimálne.

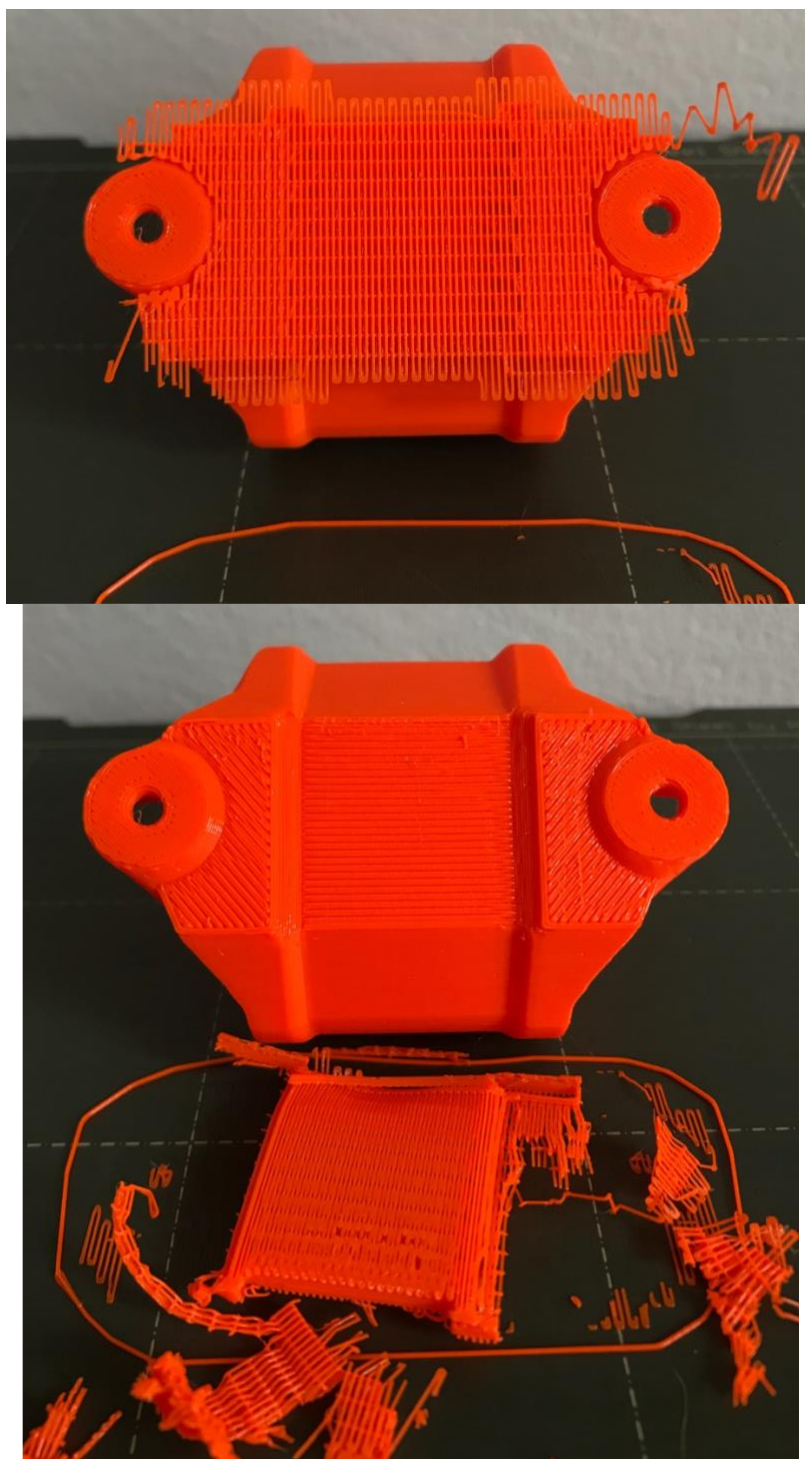


Obr. 4.2 Vytlačený model držiaka.

5.3 Postprocesing

5.3.1 Odstránenie technologických prídavkov

Po vytlačení modelu bolo potrebné odstrániť technologické prídavky v podobe podpier. Podpory boli odstránené pomocou malých kliešťov. Nakoľko medzera medzi podporami a modelom bola zvolená 0,2mm, ich odstránenie bolo jednoduché. Na obr. 4.3 je možné vidieť že aj napriek použitiu podpôr, spomaleniu tlače a zvýšeniu chladenia má povrch horšiu kvalitu oproti ostatným plochám na držiaku.



Obr. 4.3 Odstraňovanie podpier z modelu držiaka.

5.3.2 Montáž přísavok

Na vytlačený model bolo potrebné namontovať přísavky pomocou ktorých sa bude držiak prichytávať na prov kajaku. Do šesťhranných dier boli vložené matice M4 s poistným polyamidovým krúžkom do ktorých sa boli naskrutkované silikónové přísavky so závitom. Nakoľko bol model tlačný so stykovými plochami s přísavkami na tlačovú podložku bolo zaistená ich rovinnosť.



Obr. 4.4. Zmontovaný model držiaka

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

6.1 Technické zhodnotenie

Pri návrhu modelu bolo spravené technologické posúdenie modelu na základe ktorého boli vykonané úpravy modelu na zlepšenie výrobitelnosti držiaka pomocou 3D FDM tlače. Pridané boli podporné plochy ktoré zabezpečili geometrickú presnosť a estetickú kvalitu modelu. Výroba modelu prebehla v poriadku, nevyskytli sa žiadne komplikácie. Odstránenie podporných plôch bolo jednoduché, materiál podpôr sa nespojil s materiálom tela modelu. Na držiaku sú ale viditeľné miesta kde boli podpory použité.

6.2 Ekonomické zhodnotenie

Náklady na tlač boli počítané zo nákladov na prevádzku tlačiarne, spotrebovaného materiálu a ceny práce obsluhy tlačiarne. Cena nákladov na prevádzku tlačiarne je počítaná pomocou vzťahu 4:

$$N_t = t_{AS} \cdot (N_{hp} + C_e) \quad [\text{€}] \quad (4)$$

$$N_t = 2,2 \cdot (0,21 + 0,0165) = 0,50$$

kde:	t_{AS} [hod]	strojný čas
	N_{hp} [€/hod]	náklady na hodinu prevádzky stroja
	C_e [€/hod]	náklady na elektrickú energiu

Náklady na hodinu prevádzky stroja pozostávajú z nákupnej ceny stroja, doby odpisu a nákladov na údržbu ktoré činia 10% z ceny stroja. Náklady budú vypočítané pomocou vzťahu 5:

$$N_{hp} = \frac{1,1 \cdot C_s}{O_s} \quad [\text{€/hod}] \quad (5)$$

$$N_{hp} = \frac{1,1 \cdot 769}{4016} = 0,21 \quad [\text{€/hod}]$$

kde:	C_s [€]	nákupná cena stroja
	O_s [hod]	odpis stroja.

Doba odpisu stroja bude určená pomocou vzťahu 6:

$$O_s = d_p \cdot h_z \cdot z \quad [\text{hod}] \quad (6)$$

$$O_s = 251 \cdot 8 \cdot 2 = 4016 \quad [\text{hod}]$$

kde:	d_p [-]	počet pracovných dní
	h_z [hod]	pracovná doba zmeny
	z [-]	zmennosť prevádzky

Spotreba elektrickej energie udávaná výrobcom je 0,1 kWh a cena elektrickej energie je 0,165 €/kWh. Náklady na elektrickú energiu budú vypočítané podľa vzťahu 7:

$$C_e = P \cdot E \text{ [€/hod]} \quad (7)$$

$$C_e = 0,1 \cdot 0,165 = 0,0165 \text{ [€/hod]}$$

kde:	P [kWh]	spotreba elektrickej energie
	E [€/kWh]	cena elektrickej energie

Náklady na materiál budú vypočítané pomocou vzťahu 8:

$$N_m = C_n \cdot h_s \text{ [€]} \quad (8)$$

$$N_m = 29,99 \cdot 0,02242 = 0,67 \text{ [€]}$$

kde:	C_n [€/kg]	cena materiálu
	h_s [kg]	hmotnosť spotrebovaného materiálu.

Cenu práce obsluhy sa skladá z hodinovej mzdy a počtu obsluhovaných strojov. Náklady na obsluhu budú vypočítané pomocou vzťahu 9:

$$N_p = \frac{C_p}{p} \text{ [€]} \quad (9)$$

$$N_p = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ [€]}$$

kde:	C_p [€/hod]	hodinová mzda
	p [ks]	počet obsluhovaných strojov.

Celkové náklady na výrobu jedného držiaka budú vypočítané pomocou vzťahu 10:

$$N = N_t + N_m + N_p \text{ [€]} \quad (10)$$

$$N = 0,5 + 0,67 + 0,5 = 1,67 \text{ [€]}$$

7 ZÁVER

V úvodnej časti bol urobený rešerš technológie 3D FDM tlače, jej vývoj, princíp fungovania a použitia v praxi. Následne boli popísané jednotlivé časti tlačiarne a základné parametre tlače. Jedna časť bola venovaná materiálom používaných touto technológiu, či už technologickým alebo ekologickým, ktoré nemajú dopad na životné prostredie.

Ďalšia časť je venovaná samotnému návrhu modelu držiaka, posúdeniu technologickosti konštrukcie a jej optimalizácia, aby bola dosiahnutý čo najjednoduchší proces výroby. Následne boli vykonané ťahové skúšky pri rôznych výškach jednotlivých vrstiev a zvolená výška bola kompromisom medzi rýchlosťou tlače a medzou pevnosti materiálu. Ako posledné bolo zvolené množstvo výplne tak aby bola zachovaná čo najnižšia hmotnosť pri zachovaní mechanických vlastností držiaka.

Vytvorený model bol následne skontrolovaný pomocou metódy konečných prvkov. Pomocou pevnostnej analýzy bolo overené že maximálne napätie pôsobiace na telo držiaka je pod hodnotou medze klzu a medze pevnosti zvoleného materiálu.

V ďalšej časti bolo potrebné model previesť na formát z ktorého je 3D tlačiareň schopná model tlačiť. Na preprocesing bol zvolený program PrusaSlicer 2.3.0, kde boli pridané technologické prídavky v podobe podporných plôch a zvolené parametre tlače. Následne bol model rozrezaný na jednotlivé vrstvy, prevedený do formátu STL, prenesený do tlačiarne a bola spustená tlač. Tlač prebehla bez komplikácií a model bol vytlačený podľa požiadavky. V rámci postprocesingu boli manuálne odstránené technologické prídavky. Kvalita povrchu na spodnej strane držiaka bola horšia oproti ostatným plochám aj napriek použitiu podporných plôch. Úplné zamedzenie zhoršenia kvality povrchu pri použití nerozpustiteľných podpôr nie je možné.

Posledná časť bola venovaná technicko-ekonomickému zhodnoteniu, kde boli posúdené obe hľadiská. V technickom zhodnotení bola posúdená náročnosť výroby ale aj kvalita výsledného výtlačku. V ekonomickom zhodnotení boli vypočítané náklady na prevádzku tlačiarne, jej obsluhu ako aj náklady na materiál. Z týchto čiastkových nákladov boli následne vypočítané celkové náklady na výrobu jedného kusu držiaka.

Tieto náklady nemožno porovnávať s nákladmi na veľkosériovú výrobu, kde by bola použitá metóda vstrekovania termoplastického materiálu do foriem, avšak pri malosériovej výrobe, kde zákazník môže chcieť častejšie meniť dizajn alebo personalizovať jednotlivé držiaky je vhodné použiť práve metódu 3D FMD tlače.

Zoznam Použitých Zdrojov

- [1] RAPID PROTOTYPING. 3dtech [online]. 2016 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <http://www.3dtech.cz/rapid-prototyping/>
- [2] PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [3] ISO/ASTM 52900:2015(en) Additive manufacturing — General principles — Terminology. ISO/ASTM, 2015
- [4] PALERMO, Elizabeth. *Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method* [online]. 19.9.2013 [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
- [5] VAROTSIS, Alkaios Bournias. *Introduction to FDM 3D printing* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/#materials>
- [6] PALERMO, Elizabeth. *Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method* [online]. [cit. 2021-3-14]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
- [7] MWEMA, Fredrick Madaraka a Esther Titilayo AKINLABI. *Basics of Fused Deposition Modelling (FDM)* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7257444/>
- [8] Direct extrusion and Bowden systems [online]. 17.6.2020 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://filament2print.com/gb/blog/94_bowden-direct-extrusion.html
- [9] DWAMENA, Michael. 3D Printer Nozzle – Brass Vs Stainless Steel Vs Hardened Steel [online]. [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://3dprinterly.com/3d-printer-nozzle-brass-vs-stainless-steel-vs-hardened-steel/>
- [10] CAROLO, Lucas. *3D Printer Nozzle Guide: What to Know & Which to Buy* [online]. 2020 [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-nozzle-size-material-what-to-know-which-to-buy/>
- [11] *Using Abrasive Filaments and 3D Printer Nozzle Wear* [online]. 15.9.2015 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://3dprinting-blog.com/589-using-abrasive-filaments-and-3d-printer-nozzle-wear/>
- [12] MENSLEY, Matthew. *3D Printer Extruder – The Ultimate Guide* [online]. 21.8.2019 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-extruder-nozzle-guide/>
- [13] *How to choose the correct hotend* [online]. 6.7.2020 [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: https://filament2print.com/gb/blog/96_How-to-choose-the-correct-hotend.html
- [14] *ALUMINUM HEATING BLOCK EXTRUDER HOT END* [online]. [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://alexnld.com/product/10pcs-aluminum-heating-block-extruder-hot-end-for-3d-printer-1-75mm-mk8-0-4mm-nozzle/>
- [15] GRAMES, Emmett. *3D Printer Fan – Do I Really Need One?* [online]. 13.9.2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-fans-do-i-really-need-one/>

- [16] BOICHUT, Philippe. *Direct Drive, Bowden, Remote Motor, the differences...* [online]. 1.2.2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <http://www.spiderbot.eu/direct-drive-bowden-remote-motor-the-differences/?lang=en>
- [17] *Direct Drive vs Bowden Extruder Guide and Calibration Tips* [online]. 28.7.2016 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://pinshape.com/blog/direct-drive-vs-bowden-extruder-guide/>
- [18] *3D Printing: Remote Direct Extruder with Flexible Drive Shaft and Worm Gea* [online]. 12. feb. 2020 [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://www.creatagraphy.com/02/2020/allgemein/rdd-585/>
- [19] *NIMBLE IN DETAIL* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://zesty.tech/pages/the-nimble>
- [20] O'CONNELL, Jackson. *FDM 3D Printers Explained: Cartesian, Delta, CoreXY, & More* [online]. 2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
- [21] *The 4 Types of FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar & Scara)* [online]. 29.6.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/types-of-fdm-3d-printer-cartesian-delta/>
- [22] O'CONNELL, Jackson. *Belt 3D Printer: All You Need to Know* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-belt-all-you-need-to-know/>
- [23] OOI, Tian. *What is a Delta 3D Printer? – Simply Explained* [online]. 30.8.2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-a-delta-3d-printer-simply-explained/>
- [24] *Understanding the Four Types of FDM 3D Printers: Cartesian, Delta, Polar & Scara* [online]. 19.7.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://manufactur3dmag.com/understanding-the-four-types-of-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-scara/>
- [25] *Scara arm solution* [online]. 2016 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://reprap.org/forum/read.php?185,603205,603205#msg-603205>
- [26] HAY, Zachary. *Best 3D Printing Temperatures for PLA, TPU, ABS, & More* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/the-best-printing-temperature-for-different-filaments/>
- [27] GRAMES, Emmett. *3D Printing Layer Height: How Much Does It Matter* [online]. 12.1.2020 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-layer-height-how-much-does-it-matter/>
- [28] CAIN, Perry. *The impact of layer height on a 3D print* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print/>
- [29] KOČÍ, Jakub. *Vše co potřebujete znát o tiskových výplních* [online]. 22.1.2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://blog.prusaprinters.org/cs/vse-co-potrebuje-znat-o-tiskovych-vyplnich_43579/
- [30] O'CONNELL, Jackson. *3D Printing Infill: The Basics – Simply Explained* [online]. 2021 [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/infill-3d-printing-what-it-means-and-how-to-use-it/>

- [31] KONDO, Hironori. *3D Print Speed: The Perfect Settings for PLA & More* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printing-speed-optimal-settings/>
- [32] BROOKS, Mike. *What Is a Good 3D Printing Speed?* [online]. 22.4.2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://m3dzone.com/3d-printing-speed/>
- [33] *How Does Part's Orientation Affect 3D Printing?* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://bitfab.io/blog/orientation-3d-printing/>
- [34] CAIN, Perry. *Supports in 3D Printing: A technology overview* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/#fdm>
- [35] STRÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [36] *WHAT ARE 3D PRINTED MATERIALS AND HOW ARE THEY USED?* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.makerbot.com/stories/design/3d-printing-materials/>
- [37] P., Alexandra. *3D Printing Materials Guide: Plastics* [online]. 8.6.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174/#!>
- [38] KIVELÄ, Lamin. *PETG vs PLA: The Differences – Simply Explained* [online]. 2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/petg-vs-pla-3d-printing-filaments-compared/>
- [39] *A Complete Guide to 3D Printing Materials* [online]. 14.12.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://pick3dprinter.com/3d-printing-materials/>
- [40] TOOR, Ravi. *PET vs PETg Filament – What's The Difference?* [online]. 26.3.2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.filamentive.com/pet-vs-petg-filament-whats-the-difference/>
- [41] V., Carlota. *All you need to know about PETG for 3D printing* [online]. 18.12.2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/petg-3d-printing-guide-181220194/#!>
- [42] V., Carlota. *All you need to know about ABS for 3D printing* [online]. 6.6.2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/abs-3d-printing-060620194/#!>
- [43] *ABS* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/abs/>
- [44] V., Carlota. *All you need to know about ASA for 3D printing* [online]. 17.8.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/asa-3d-printing-170820204/#!>
- [45] CHEN, Aaron. *Top 10 Materials Used For Industrial 3D Printing* [online]. 3.2.2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.cmac.com.au/blog/top-10-materials-used-industrial-3d-printing>
- [46] *Nylon* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/nylon/>

-
- [47] *HIPS* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/hips/>
- [48] KONDO, Hironori. *Flexible Filaments for 3D Printing – Simply Explained* [online]. 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/flexible-3d-printing-filament-which-should-you-choose/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Jednotka	Popis
a	[m/s ²]	Zrýchlenie kajaka
C_e	[€/hod]	Náklad na elektrickú energiu
C_n	[€/kg]	Cena materiálu
C_p	[€/hod]	Hodinová mzda
C_s	[€]	Nákupná cena tlačiarne
d_p	[-]	Počet pracovných dní v roku
E	[€/kWh]	Cena elektrickej energie
F	[N]	Sila pôsobiaca na držiak
F_{max}	[N]	Maximálna sila
h_s	[kg]	Hmotnosť spotrebovaného materiálu
h_z	[hod]	Pracovná doba zmeny
m_d	[kg]	Hmotnosť držiaka
m_h	[kg]	Hmotnosť hodiniek
N	[€]	Celkové náklady na výrobu
N_{hp}	[€/hod]	Náklady na hodinu prevádzky tlačiarne
N_m	[€]	Náklady na použitý materiál
N_p	[€]	Cena práce obsluhy
N_t	[€]	Cena nákladov na prevádzku tlačiarne
O_s	[hod]	Odpis stroja
p	[ks]	Počet obsluhovaných tlačiarní
P	[kWh]	Spotreba elektrickej energie
S_0	[mm ²]	Plocha prierezu vzorku
t_{AS}	[hod]	Strojný čas
z	[-]	Zmennosť prevádzky
σ	[MPa]	Napätie

σ_m	[MPa]	Medza pevnosti
Skratka		Význam
3D		Trojdimenzionálny
ABS		Akrylonitrilbutadiénstyrén
ASA		Akrylonitrilstyrenakryl
CAD		Computer Aided Design
CAM		Computer Aided Manufacturing
FDM		Fused Deposition Modeling
FFF		Fused Filament Fabrication
HIPS		High Impact Polystyrene
PEI		Polyéterimid
PET		Polyetyléntereftalát
PET-G		Polyetyléntereftalát-Glykol
PLA		Polylactic acid
PTFE		Polytetrafluóretylén
PVA		Polyvinylacetát
STL		Standard Triangle Language
TPU		Thermoplastic Polyurethane

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Technický list materiálu PET-G
Príloha 2	Fotografie hotového držiaka

TECHNICKÝ LIST

Prusament PETG od Prusa Polymers



PETG je jedním z nejčastěji používaných vláken. Je to skvělá volba pro tisk mechanicky namáhaných dílů. Oproti PLA je odolnější vůči teplu, je pružnější a méně křehký.

UŽITÍ: Typickým použitím PETG je tisk funkčních a mechanických částí. Díky dobré přilnavosti vrstev je vhodný i pro vodotěsné tisky.

NEVHODNÉ PRO: Nevhodné pro malé součásti

OPRACOVÁNÍ: Pro opracování výtisků z PETG je možné použít suché i mokré broušení.

IDENTIFIKACE:

Jméno výrobku	Prusament PETG
Chemický název	kopolyester
Použití	FDM 3D tisk
Průměr	1,75 ± 0,02 mm
Výrobce	Prusa Polymers, Praha, Česká republika

DOPORUČENÉ NASTAVENÍ TISKU:

Teplota trysky [°C]	250 ± 10
Teplota vyhřívání podložky [°C]	80 ± 10
Rychlost tisku [mm / s]	až 200

TYPICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU:

Fyzikální vlastnosti	Typická hodnota	Metoda
Hustota [g / cm ³]	1,27	ISO 1183
Absorpce vlhkosti 24 hodin [%] (1)	0,2	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 7 dní [%] (1)	0,3	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 4 týdny [%] (1)	0,3	Prusa Polymers
Teplota tvarové stálosti (0,45 MPa) [° C]	68	ISO 75
Napětí na mezi kluzu pro filament [MPa]	46 ± 1	ISO 527

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYTÍŠŤENÝCH TESTOVACÍCH VZORKŮ (2):

Vlastnosti / směr tisku	Horizontální	Vertikální X, osa Y	Vertikální osa Z	Metoda
Napětí na mezi kluzu [MPa]	47 ± 2	50 ± 1	30 ± 5	ISO 527-1
Modul pružnosti v tahu [GPa]	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	ISO 527-1
Prodloužení na mezi kluzu [%]	5,1 ± 0,1	5,1 ± 0,1	2,5 ± 0,5	ISO 527-1
Rázová houževnatost Charpy (3) [kJ / m ²]	NB. (C) (4)	NB. (4)	5 ± 1	ISO 179-1

(1) 30 ° C; vlhkost 30%

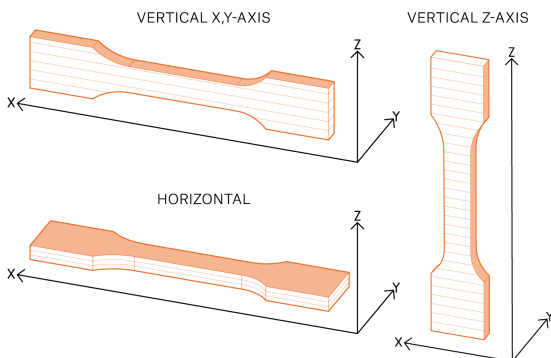
(2) K výrobě zkušebních vzorků byla použita 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3. Slic3r Prusa Edition 1.40.0 byl použit k vytvoření G-codů s následujícím nastavením: Prusa PETG Filament; Nastavení tisku 0,20 mm SPEED (vrstvy 0,2 mm); plně vrstvy Horní: 0 Spodní: 0; Výplň 100% přímočará, rychlost výplně 100 mm / s; extruzní multiplikátor 1,07; teplota extruderu 260 ° C na všechny vrstvy; teplota vyhřívání podložky 90 ° C na všechny vrstvy; ostatní parametry nastaveny jako výchozí

(3) Charpy bezvrubový - směr úderu ve směru hrany podle ISO 179-1

(4) NB. (No Break - Bez přerušení); C (complete break - úplné přerušení) v závorkách druhý nejčastější typ selhání > 1/3

Vyloučení odpovědnosti

Výsledky uvedené v tomto datovém listu jsou pouze pro vaši informaci a srovnání. Hodnoty výrazně závisí na nastavení tisku, zkušenostech obsluhy a okolních podmínkách. Je potřeba individuálně zvážit vhodnost a možné důsledky použití tištěných dílů. Prusa Polymers nemůže nést žádnou odpovědnost za zranění nebo ztráty způsobené použitím materiálu Prusa Polymers.



PRÍLOHA 2

Pohľad spredu



Pohľad z boku



Pohľad zozadu



Pohľad zospodu

